



Universidad Nacional de Salta

Facultad de Ciencias Exactas

Doctorado en Ciencias – Área Energías Renovables

“Software Libre de apoyo a la toma de Decisiones en Energías Renovables”

Lic. Nilsa M. Sarmiento B.

Directora: Dra. Silvina Belmonte

Co-Directora: Dra. Judith Franco

Agradecimientos

El desarrollo de este doctorado fue posible gracias a la colaboración, el apoyo y el afecto constante de muchas personas, a quienes agradezco profundamente. Asimismo, quiero destacar la importancia de haber tenido la oportunidad de desarrollar mi doctorado en la Universidad Nacional de Salta, de carácter público y gratuito, y el haber solventado mis gastos durante este proceso con una beca doctoral otorgada por CONICET.

Primero quiero destacar el rol fundamental de mis directoras: Silvina y Judith, durante todo el proceso de investigación. Gracias por sus aportes, asesoramiento y guía permanente durante estos cinco años.

También, quiero agradecer a mis compañeros del Instituto de Investigaciones en Energía No Convencional: María, Pablo, Aien, Karina por compartirme su entusiasmo, su buen humor y su colaboración diaria.

Por otra parte, quiero agradecer a mi madre el haberme enseñado desde una etapa muy temprana de mi vida el amor por la ciencia, la lectura y el pensamiento crítico. A su vez, quiero agradecerle el haberme inspirado a ser siempre una mejor persona, una mejor docente y una mejor investigadora.

Agradezco a mi padre por guiar mi camino en los momentos de dificultad y a mis hermanos: Pablo, Joaquín, Francisco e Ignacio por su apoyo y cariño.

Finalmente, quiero agradecer a todas las personas que figuran directa o indirectamente en esta tesis, sin quienes este trabajo no hubiera sido posible.

Índice

1. INTRODUCCIÓN.....	6
1.1 Justificación del tema	6
1.2 Objetivos.....	7
1.3 Investigación colaborativa	7
1.4 Estructura de la tesis.....	9
1.5 Motivación	11
1.6 Referencias del capítulo	12
2. MARCO CONCEPTUAL.....	14
2.1 Ciencia, tecnología y sociedad	14
2.2 Planificación energética	14
2.3 Software libre y metodologías ágiles de desarrollo de software	16
2.4 Sistema de soporte a las decisiones.....	21
2.5 Referencias del capítulo	27
3. ÁREA DE ESTUDIO Y PROCESO METODOLÓGICO.....	33
3.1 Área de estudio	33
3.2 Marco metodológico.....	35
3.3 Etapas del proceso metodológico	38
3.4 Referencias del capítulo	46
4. CONTEXTO REGIONAL DE LAS ENERGÍAS RENOVABLES.....	51
4.1 Metodología de trabajo	51
4.2 Escenario latinoamericano	54
4.3 Situación nacional de las energías renovables.....	55
4.3.1 Contexto legal	55
4.3.2 Programas nacionales	57
4.3.3 Aplicaciones de energías renovables en Argentina.....	58

4.4 Reflexiones del capítulo	67
4.5 Referencias del capítulo	67
5. LAS ENERGÍAS RENOVABLES EN SALTA	69
5.1. Metodología de trabajo	69
B. Contexto legal provincial	70
A. Aplicaciones de energías renovables en Salta	72
C. Encuesta “Energías Renovables en Salta”	77
5.2 Reflexiones del capítulo	83
5.3 Referencias del capítulo	84
6. VINCULACIÓN INTERACTORAL	86
6.1 Metodología de trabajo	86
6.2 Prioridades identificadas y estrategias de actuación	89
6.3 Reflexiones del capítulo	93
6.4 Referencias del capítulo	94
7. ATLAS DE RADIACIÓN SOLAR	95
7.1 Metodología de trabajo.....	95
7.1.1 Antecedentes de mapeo de la radiación solar	95
7.1.2 Proceso metodológico	96
7.1.3 Programas utilizados y estrategias de difusión	101
7.2 Resultados.....	103
7.2.1 Mapas de Radiación Solar de Salta	103
7.2.2 Análisis del recurso solar en la provincia	106
7.2.3 Comparaciones de datos y análisis de fuentes	107
7.2.4 Validación del método	112
7.3 Reflexión del capítulo	114
7.4 Referencias del capítulo	115
8. SISTEMA DE INFORMACIÓN SOLAR SALTA - SISol	120
8.1 Metodología de trabajo	120
8.1.1 Antecedentes de sistemas computacionales para ER.....	120

8.1.2 Proceso metodológico	122
8.1.3 Herramientas de programación utilizadas	126
8.2. Resultados.....	127
8.2.1. Módulos de radiación y temperatura	128
8.2.2. Módulo de generación eléctrica fotovoltaica	131
8.2.3. Módulo de generación solar térmica	134
8.2.4. Comparación con otros software de cálculo.....	139
8.3 Reflexión del capítulo	143
8.4 Referencias del capítulo	143
9. CONCLUSIONES	146
9.1 Acerca de los objetivos propuestos y resultados alcanzados en la investigación	146
9.2 Avances y desafíos para la implementación de las ER en Salta	148
9.3 La importancia de la participación en los procesos.....	149
9.4 Nuevas líneas de investigación	150
ANEXOS	151
A. Publicaciones y Software.....	151
B. Atlas de radiación solar de Salta	151
C. Listado de publicaciones y participaciones en reuniones científicas.....	151

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Justificación del tema

En el campo energético, la falta o inadecuada planificación de proyectos de aprovechamiento de fuentes fósiles e incluso de Energías Renovables (ER), ha dejado una larga lista de antecedentes de dificultades encontradas, traducidas en sobrecostos para los proyectos y daños irreparables para el medioambiente y para las poblaciones afectadas (Domínguez Bravo, 2002; Figueroa, 2010; Arnette, 2010).

Esta ausencia de planificación incide en la perspectiva limitada con la que se suelen encarar dichos proyectos. En Belmonte et al. (2009) se identifica la diversidad de vinculaciones e incidencias de las energías renovables en el modelo territorial y se evidencia la importancia de vincular el paradigma de sustentabilidad con el concepto de “gobernanza”. En este trabajo se plantea que “hace falta gobernar este proceso de cambio (de valores, de paradigmas y maneras de hacer) desde una alta capacidad de aprendizaje y adaptación al medio cambiante, en contacto con la realidad y visión estratégica” (Rodó et al., 2004). La noción de gobernanza hace referencia a la coordinación estratégica de actores políticos y sociales superando el modelo jerárquico de la toma de decisiones (Pabón Balderas, 2007). Los conceptos –sustentabilidad y gobernanza– implican la incorporación en su proceso de aspectos claves como la planificación, la priorización, la flexibilidad y la visión innovadora (Rodó et al., 2004), los cuales resultan imprescindibles para asumir adecuadamente la complejidad, la transversalidad y la perspectiva temporal del territorio.

El desarrollo de una herramienta integral de planificación que supla el vacío que se ha venido presentando en este sector energético, resulta por tanto necesaria. En este sentido, un Sistema de Soporte a la toma de Decisiones (SSD) para la planificación, la evaluación y el fomento de ER, ha resultado de gran utilidad en distintos lugares del mundo, como lo demuestran experiencias de instalación de granjas eólicas en La Rioja, España (Ramírez Rosado et al., 2008) y en la Isla de Creta, Grecia (Voivontas et al., 1998); implementación de ER en operación de equipos de riego tecnificado en Chile (Figueroa, 2010); electrificación rural con ER en Murcia, España (Amador y Domínguez, 2005) y de incorporación de sistemas fotovoltaicos, de biomasa y eólicos en Brasil (Tiba et al., 2010).

La propuesta que aquí se presenta busca construir y desarrollar un SSD para la planificación energética en Salta mediante el desarrollo de escenarios y estrategias que promuevan el uso de ER. Este SSD posibilitará a los decisores explorar las posibilidades que existen dentro de la región para la utilización de ER desde una óptica multidisciplinaria. El objetivo a largo plazo es crear un marco de toma de decisiones que pueda ser aplicado en otras regiones para la planificación energética en diferentes escalas. Esta herramienta será construida a partir de requerimientos tomados de los grupos de actores involucrados en la temática, por lo que decisiones como los tipos de fuentes a abarcar, funcionalidades y formato adoptado se fueron definiendo a partir del trabajo colaborativo y la construcción de acuerdos entre los diferentes actores.

El SSD propuesto se basa en el empleo de Sistemas de Información Geográfica (SIG) mediante el cual se analizará no sólo la disponibilidad de los recursos sino también los aspectos geográficos, topográficos, regulatorios, sociales, económicos y otros limitantes para su empleo. Los resultados del SIG serán el input para el análisis y la determinación de modelos para la incorporación de ER. Este método apunta a la evaluación de la distribución espacial del potencial de aprovechamiento de ER en una región y su combinación con la demanda de energía, buscando proponer acciones e intervenciones que mejoren los sistemas energéticos existentes.

1.2 Objetivos

General

Se plantea el desarrollo de un Sistema Libre de Soporte a las Decisiones para la planificación energética a nivel provincial promoviendo el empleo de Energías Renovables, mediante el desarrollo de escenarios y estrategias que optimicen el uso de los recursos energéticos existentes, atiendan la demanda energética socio-productiva y viabilicen la sustitución parcial de fuentes convencionales.

Objetivos Específicos

1. Analizar el contexto internacional, nacional y provincial con respecto a la necesidad de abordar el empleo y el fomento de las ER de manera multidisciplinar y multi-actoral, debido a su complejidad.
2. Construir un marco conceptual que relacione las ER con conceptos multidisciplinarios como: Software Libre, Sistema de Soporte a las Decisiones, Sistema de Información Geográfica, entre otros.
3. Adaptar Software/s Libre/s de SIG adecuándolos a los requerimientos específicos de trabajo con ER.
4. Construir un SIG que integre información de base para la planificación de ER en la provincia procurando acuerdos colaborativos entre los actores interesados en la temática, con el objeto de facilitar el manejo y el procesamiento de datos base.
5. Desarrollar un Software Libre de Soporte a las Decisiones como respuesta a cuestiones identificadas como prioritarias para la planificación de las ER, incorporando estrategias ágiles en el proceso.
6. Promover la difusión, el conocimiento y el uso del Software desarrollado en distintos ámbitos de toma de decisiones.

1.3 Investigación colaborativa

El presente trabajo de investigación fue planteado desde sus inicios como un proyecto colectivo, surgido de distintos procesos colaborativos en torno a la real incorporación de las ER en la provincia. Tal es así, que la mayoría de los resultados fueron concebidos como un trabajo en equipo de todos los actores sociales cuyo interés principal o secundario atraviesa a las ER y el fomento de las mismas. En este sentido, la

presente investigación sirvió de motor para la concreción de distintos ámbitos de debate, difusión o bien puesta a disposición de resultados alcanzados. Otras veces, se adoptó un papel de participación en los distintos espacios como actor interesado de la promoción de ER. Los resultados obtenidos en estas esferas colectivas fueron incorporados como insumos y recursos para retroalimentar la investigación del doctorado.

El grupo de investigación Planificación Energética y Gestión Territorial (PEyGeT) del Instituto de Investigaciones en Energía No Convencional (INENCO) posibilitó el desarrollo de la tesis a partir de la gestión y ejecución de diversas acciones y la integración de un grupo de investigación multidisciplinario. A continuación, se nombran los principales proyectos de investigación y convenios formales que aportaron al financiamiento del trabajo y sirvieron como catalizadores de los elementos que integran esta tesis:

- Proyecto de Investigación Plurianual PIP CONICET N°00708 (2012- 2014): “Desarrollo de tecnología solar de desalinización de agua con alta producción para la mejora de condiciones de vida y sistemas productivos.” Investigador responsable: Dra. Judith Franco. Co-Directora: Silvina Belmonte.

- Programa de Cooperación Científico-Tecnológica entre el Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva de la República Argentina (MINCYT) y el Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) de Alemania (2014- 2015): “Planificación Energética Territorial con Fuentes Renovables de Energía en los casos Argentino y Alemán.” Dir. Argentino: Dra. Judith Franco – Dir. Alemán: PhD Wolfgang Dorner.

- Proyecto de Investigación Orientado (2014-2017): “Energías Renovables en Argentina: Visiones y perspectivas de los actores sociales. Hacia un análisis integral de los Sistemas Tecnológicos Sociales, desarrollo productivo y sustentabilidad socio-ambiental.” CONICET - Fundación YPF. Investigador responsable: Dra. Judith Franco. Co-directora: Dra. Silvina Belmonte.

- Proyecto de Investigación Plurianual - PIP CONICET N° 035 (2016-2019): “Sistema de soporte para la toma de decisiones en energías renovables (Salta - Argentina)”. Investigador responsable: Dra. Judith Franco. Co-directora: Dra. Silvina Belmonte.

- Proyecto de Vinculación Tecnológica – Secretaría de Cooperación Técnica y Relaciones Internacionales de UNSa (2016-2018): “INTI AR: Mejora de la organización y los procesos productivos de fabricación e instalación de equipos de energía solar, fomentando el desarrollo local en Vaqueros, Salta”. Investigador responsable: Dra. Judith Franco. Co-directora: Dra. Silvina Belmonte.

- Proyecto de Investigación del Consejo de Investigación de la Universidad Nacional de Salta – Proy CIUNSA 2427/0 (2017-2018): “Reutilización de software libre para el desarrollo de Sistemas de Información Geográfica en Gestión de Energías Renovables”. Investigador responsable: Mg. Jorge Ramírez.

- Convenio de Investigación y Desarrollo RES 3157/16 concertado entre el Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas - CONICET - (Grupo PEyGeT - INENCO) y la Secretaría de Energía del Ministerio de Producción, Trabajo y Desarrollo Sustentable de la provincia de Salta. El Convenio describe las

actividades y responsabilidades para el desarrollo de un Sistema de Soporte a la toma de Decisión para la incorporación de Energías Renovables en Salta.

- Convenio de Asistencia Técnica concertado entre el Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas - CONICET - (Grupo PEyGeT - INENCO) y la Secretaría de Energía del Ministerio de Producción, Trabajo y Desarrollo Sustentable de la provincia de Salta. El Convenio fue celebrado como marco legal para la realización de un Sistema de Información Solar de la provincia de Salta.

La Tabla 1.1 presenta un resumen temporal de las principales actividades y resultados que fueron contruidos conjuntamente en el marco de estos proyectos/convenios y que constituyen aportes concretos para el desarrollo de esta tesis.

Tabla 1.1 Resumen de actividades y aportes que funcionaron de insumos y retroalimentaron el proceso de investigación.

Año	Actividad	Resultados/Insumos
2013-2014	Consultas a Expertos	Plan Provincial de Energías Renovables
2014	Workshop: “Información de base para modelos energéticos con SIG”	Identificación de la información de base necesaria para la planificación energética, acciones propuestas y estrategia acordada inter-institucionalmente.
2015	Encuesta pública general sobre Energías Renovables en Salta	Conocimiento de la visión de la población con respecto a las ER y sus regulaciones. Cartilla de difusión de resultados.
2015	Workshop: “Aportes al fomento de las ER en Salta: acciones, proyectos y propuestas”	Acciones, potencialidades y limitaciones identificadas como prioritarias para el fomento de las ER en Salta.
2015-2016	Relevamiento de experiencias de ER en el NOA y Argentina	Acercamiento territorial y multi-actoral en la implementación de proyectos de ER de diferentes escalas. Análisis situacional de las ER en el país y la región. Identificación de aspectos prioritarios para la planificación energética. Definición de propuestas y recomendaciones para políticas públicas.
2016	Workshop: “Construcción de buenas prácticas para la implementación de ER”	Documento síntesis de las reflexiones y aprendizajes para la implementación de ER. Vinculación con instituciones provinciales y regionales relacionadas con ER.
2016-2017	Talleres internos de trabajo PEyGeT - Proyecto PIP (SSD)	Sistematización de información de base de ER en Salta. Desarrollo de herramientas metodológicas (bases de datos, SIG, consultas participativas).
2017	Convenio de Investigación y Desarrollo.	Marco legal de trabajo conjunto con el sector gubernamental.
2018	Convenio de Asistencia Técnica.	Conformación de grupo de trabajo para el diseño y desarrollo de SISol.

1.4 Estructura de la tesis

Si bien muchos de los procesos descritos en esta tesis se dieron de manera simultánea, se estructuró de manera secuencial para facilitar su lectura y el entendimiento del proceso en general. La tesis se presenta estructurada en nueve capítulos. En los primeros apartados se profundiza la problemática, el enfoque

conceptual y la estrategia metodológica general que sustenta el trabajo. En los capítulos siguientes se detalla el escenario de las ER en distintas escalas y la metodología utilizada para su abordaje. Asimismo, se continúa con la presentación de las herramientas desarrolladas para contribuir a la planificación energética, la metodología utilizada en ellas y los resultados obtenidos. Como resultado final, se integran las conclusiones de todo el trabajo de investigación, los avances y desafíos en materia de planificación energética y las líneas de investigación que han surgido. Finalmente, en el apartado de anexo se lista principalmente el contenido del anexo digital.

Capítulo 1: Describe la problemática que se identificó en el inicio de la investigación (2014), los objetivos propuestos y la motivación para realizar el trabajo.

Capítulo 2: Presenta en detalle el marco conceptual adoptado para el desarrollo del trabajo, así como los enfoques epistémicos adoptados durante toda la investigación.

Capítulo 3: Describe el área de trabajo y detalla el proceso metodológico utilizado durante el trabajo de investigación en su totalidad.

Capítulo 4: Relata el contexto internacional y nacional donde se introduce la investigación. Una conclusión importante del capítulo es la necesidad de abordar las ER de manera multidisciplinar y multi-actoral, debido a su complejidad.

Capítulo 5: Desarrolla el contexto provincial con respecto a las ER. A partir de las reflexiones y aprendizajes obtenidos se priorizan las acciones para el fomento e incorporación de ER en Salta.

Capítulo 6: Muestra las principales acciones de vinculación inter-institucional que permitieron fortalecer el diálogo y el trabajo colaborativo entre los diferentes actores involucrados e interesados en las ER en la provincia, tanto sector productivo, gubernamental, ONG y científico tecnológico.

Capítulo 7: Presenta el desarrollo del atlas de radiación de la provincia de Salta, priorizado como recurso clave para el desarrollo de las ER en la provincia. El atlas de radiación solar toma como base fuentes de datos satelitales que son validados con mediciones terrestres en la zona.

Capítulo 8: A partir del mapeo del recurso solar, y como emergente de la vinculación inter-institucional, se desarrolla una aplicación web como soporte en la toma de decisiones para la consulta interactiva de aspectos ambientales (irradiación solar y temperatura) y la evaluación de potenciales instalaciones solares fotovoltaicas y térmicas. El capítulo describe los aspectos metodológicos específicos y los principales resultados como herramienta de apoyo a la toma de decisiones para actores de distintos sectores interesados en realizar algún tipo de instalación solar y prever escenarios.

Capítulo 9: A modo de cierre, se presentan las conclusiones y las reflexiones finales surgidas de todo el proceso de investigación. Finalmente, se presentan nuevas líneas de investigación que abre la presente tesis.

Anexo: Enumera los archivos complementarios incluidos en el DVD anexo al cuerpo principal y sitios de difusión de las herramientas desarrolladas.

Es importante destacar que esta tesis no hubiera sido posible sin los insumos contruidos de manera colectiva, en los distintos ámbitos de reflexión y diálogo entre los distintos actores interesados en las ER tanto a nivel provincial como regional; por lo cual se quiere dejar una especial mención a todos aquellos que participaron de manera directa o indirecta en dichos espacios.

1.5 Motivación

Un gran aliciente en el desarrollo de esta tesis fueron las experiencias de ER relevadas en el territorio a lo largo de la Argentina. En las mismas, se llevó a cabo un diálogo directo con los diversos actores sociales y a partir de este acercamiento, se tuvo la oportunidad de conocer las diferentes vivencias en torno a las ER. Muchas de estas vivencias guardan aprendizajes de alto valor para la mejor incorporación y fomento de las energías limpias en nuestro país. A su vez, se detectó como factor clave la importancia de la vinculación interinstitucional, el trabajo colaborativo y la investigación puesta al servicio de la sociedad. Es decir, la necesidad de investigar temas definidos como críticos por la misma sociedad y con el objeto de mejorar la calidad de vida, entendiendo este concepto tanto subjetiva como objetivamente. Si bien, estos factores resultan complejos de realizar y mantener en la cotidianeidad, son claves para el desarrollo de procesos democráticos exitosos que propicien el avance de nuestra sociedad en una más justa, sustentable y con igualdad de oportunidades.

A partir de este contacto con la situación actual de las ER en nuestro país, se identificaron aprendizajes, aciertos y acciones rectoras que se procuraron aplicar en el proceso de investigación de esta tesis. Y de esta manera, desde sus inicios, esta investigación se llevó a cabo como una oportunidad para promover espacios de investigación colaborativa, retroalimentarse de dichas esferas y poner a disposición resultados individuales y conjuntos a distintos actores sociales tanto del ámbito científico tecnológico, gubernamental y sociedad en general.

Muy a menudo, el ámbito científico prioriza el desarrollo de actividades de difusión tales como la elaboración de artículos internacionales, participación de congresos o reuniones especializadas, lo que conduce en algún punto a desmotivar la vinculación interinstitucional, la concreción de espacios colaborativos interdisciplinarios y una investigación consciente de las prioridades sociales. Esto deriva en la falta de asignación de recursos destinados a estas actividades. Es por eso, que muchas veces los desarrollos de estas acciones son motorizados únicamente por la convicción de actores individuales o grupales que bregan por una sociedad mejor que es posible solo bajo procesos democráticos estables que promuevan la incorporación de la visión de todos los actores sociales.

Muchas de las actividades descriptas en esta tesis fueron producto de estas fuertes convicciones, alcanzadas en espacios de reflexión personal y conjunta tanto con la Directora y co-directora de esta tesis, como con el grupo de investigación y en reuniones regionales y nacionales con actores sociales interesados en la promoción de una sociedad más justa, equitativa y en consonancia con la naturaleza.

Por último, la toma de decisiones en este tipo de sociedades solo puede ser alcanzada como resultado de procesos conjuntos y coordinados donde la información fluya no solo públicamente sino de manera accesible para ser efectivamente entendida y utilizada. De aquí, los constantes esfuerzos en esta tesis para poner a disposición los resultados tanto de esta investigación particular como aquellos surgidos de trabajos colectivos, en distintos formatos que posibiliten la accesibilidad y administración de datos.

1.6 Referencias del capítulo

- Arnette, A. "A Spatial DSS for the Development of Multi-Source Renewable Energy Systems". Dissertation. Virginia Polytechnic Institute and State University. United States. 2010.
- Aronoff, S. "Geographic Information System. A Management Perspective". WDL Publications. Ottawa, Canada. 294 pp. 1989.
- Belmonte, S. "Evaluación multicriterio para el uso alternativo de energías renovables en la Ordenación Territorial del Valle de Lerma". Tesis doctoral. Doctorado en Ciencias Orientación Energías Renovables. Facultad de Ciencias Exactas. Universidad Nacional de Salta. 2009.
- Belmonte, S.; Viramonte, J.G.; Núñez, V., Franco, J. "Multi Criteria Evaluation for application of renewable energy and energy efficiency policies in the Lerma Valley, Salta, Argentina". 5th Dubrovnik Conference on Sustainable Development of Energy, Water and Environment Systems. Dubrovnik - Croatia. 2009.
- Carter, J. R. "On the defining the geographic information system". En: RIPPLE, W. J. (ed.). Fundamentals of geographic information systems: a compendium. Falls Church Virginia, ASPRS/ACSM, PP. 3-7. 1989.
- Cockburn, A. "Crystal Clear: A Human-Powered Methodology for Small Teams". Addison-Wesley Professional, ISBN 0-201-69947-8. 2004.
- Domínguez Bravo, J.; García Casals, X. "GIS approach to the definition of capacity and generation ceilings of renewable energy technologies". Energy Policy 35(10): 4879-4892. 2007.
- Dueker, K. J. "Land resource information system: a review of fifteen years experiences". Geo-Processing, 1, pp. 105-128. 1979.
- Figueroa, A. A. "Plataforma de apoyo para la decisión de implementar sistemas de energías renovables no convencionales en la operación de equipos de riego tecnificado". Universidad de Chile. 2010.
- Pabón Balderas E. Sistema de Análisis Social. Enfoques y Herramientas Participativas para Procesos de Desarrollo (Compilación de experiencias de aplicación). CEBEM editors. Bolivia. <http://www.sas2.net> and <http://sas.cebem.org> 152; 2007 .
- Ramírez-Rosado, I.; García-Garrido, E.; Fernández-Jiménez, A.; Zorzano-Santamaría, P.; Monteiro, C.; Miranda, V. "Promotion of new wind farms based on a decision support system", Renewable Energy, Volume 33, Issue 4, 2008, Pages 558-566, ISSN 0960-1481, <https://doi.org/10.1016/j.renene.2007.03.028>.
- Rodó, J.; Queralt, A.; P. Torres. "La dimensión identitaria de la sustentabilidad". Revista Instituciones y Desarrollo Nº16: 335-352. 2004.

- Soncini-sessa, R.; Castelleti; A., Weber, E. "A DSS for planning and managing water reservoir systems". *Environ Modelling y Software* 18 (5): 395-404. 2003.
- Star, J. y J. Estes. "Geographic information systems; An introduction". Prentice Hall. Nueva Jersey, USA. 1991.
- Voivontas, D., Assimacopoulos, D., Mourelatos, A. y Corominas, J. 1998. Evaluation of renewable energy potential using GIS decision support system. *Renew Energy* 13 (3): 333- 344.

2. MARCO CONCEPTUAL

2.1 Ciencia, tecnología y sociedad

Tradicionalmente el desarrollo de tecnología ha sido abordado desde la perspectiva casi exclusivamente técnica, donde la visión subyacente del movimiento de productos y procesos tecnológicos fluye desde los centros de investigación hacia el resto de actores de la sociedad (Schlierf et al, 2010). Mejoras de esta visión, se ha dado en términos lineales incorporando los conceptos de “transferencia tecnológica y difusión”. Sin embargo, la separación tajante entre los problemas sociales y los problemas tecnológicos seguían perpetuándose al constituir ambos lenguajes diferentes de comunicación nula.

Nuevas corrientes de pensamiento, han propuesto maneras superadoras para referirnos a estos procesos y el contenido que los sustenta. En esta línea surgen los conceptos de “Sistemas Tecnológicos Sociales” o “Tecnologías para la Inclusión Social”, como *“formas de diseñar, desarrollar, implementar y gestionar tecnologías orientadas a resolver problemas sociales y ambientales, generando dinámicas sociales y económicas de inclusión social y de desarrollo sustentable”* (Thomas, 2009). Estos conceptos intentan resumir un planteo distinto del tema, ya que abordar la cuestión del desarrollo de tecnologías de esta manera implica constituir la resolución de los problemas vinculados a la pobreza y a la exclusión como un desafío científico-técnico. Por tanto, los procesos de adecuación socio-técnica implican la producción y construcción social de la utilidad y funcionamiento de las tecnologías en los que participan diferentes actores (usuarios, beneficiarios, funcionarios públicos, ONG, etc.) (Thomas, 2009).

En el Foro Latinoamericano de Desarrollo Sostenible -Rosario 2012- se subrayaron dos condiciones para generar políticas tecnológicas para la Inclusión Social y el Desarrollo: 1- Construcción de puentes entre saberes, donde se reconoce la importancia de la participación de la comunidad en el proceso de diseño e implementación de las políticas públicas y, 2- Generación de condiciones para que la Ciencia y la Tecnología se oriente a los problemas sociales y ambientales, lo cual implica necesariamente una mayor interconexión entre la función de producción de conocimiento y tecnologías y el rol social y político de las universidades e institutos de I+D (Juárez, 2012). En este sentido, se reafirma la necesidad de analizar los procesos de adecuación socio-técnica desde una perspectiva multidimensional e integradora, con el objetivo manifiesto de mejorar su comprensión y práctica, y aproximar la mirada ciencia-tecnología-sociedad (Belmonte et. al., 2012).

2.2 Planificación energética

A raíz de la crisis energética de la década de 1970 y 1980, la actividad de “Planificación Energética” (PE) empezó a generalizarse primero entre los países más desarrollados y luego a nivel mundial. Entre las definiciones tradicionales que sugiere esta terminología se distinguen:

“Proceso de elección de alternativas orientado a la creación de infraestructura para satisfacer el suministro energético en función de preferencias específicas y bajo el criterio de mínimo costo” (Van Beek, 2003).

“Consiste en la previsión de las necesidades energéticas futuras y de las actuaciones que es necesario llevar a cabo para asegurar su debida atención” (Secretaría General de Energía, 2007).

“Estudio metódico de dónde se van a sacar los recursos energéticos que se utilizarán en el futuro” (Watkins y Sánchez, 2008).

“Análisis detallado de los recursos energéticos necesarios a fin de cumplir con el balance oferta/demanda de manera óptima” (Rachamadra 2009).

“Proceso complejo de construcción de políticas a largo plazo para ayudar a orientar los sistemas energéticos desde lo local a lo regional” (Rad, 2011).

“Se orienta a definir objetivos y políticas relacionadas con la energía, recolectar y evaluar información, desarrollar alternativas para futuras acciones y proponer el plan de energía más adecuado de acuerdo a las demandas.” (Quijano, 2012).

En la actualidad autores como Prasad (Prasad et al.,2014) han avanzado en el contenido que sustenta este término al establecer a la PE como intrínsecamente multifacética e interpretarla como una hoja de ruta conducente a la satisfacción de las necesidades energéticas de una nación teniendo en cuenta factores tales como la tecnología, economía, el ambiente y la sociedad. A su vez, consideran la sustentabilidad como un eje transversal para la formulación de los planes estratégicos.

Los modelos de aplicación de PE varían principalmente en su objetivo, herramientas utilizadas, aspectos evaluados, enfoque de trabajo, escala y actores involucrados. De acuerdo a estas variantes, Cruz et al. (2013) diferencia y especifica tres modelos generales: el modelo energía-economía, el modelo eficiencia-energética y el modelo energía-sustentabilidad.

El modelo energía-economía, busca satisfacer el suministro energético minimizando los costos financieros utilizando modelos predictivos de oferta y demanda como herramientas prospectivas. Se centran en evaluar aspectos económicos, utilizando un enfoque *“de arriba hacia abajo”* (“top down”). Alcanza escalas regionales y nacionales e involucra al gobierno y al sector privado como actores claves. Caso experimental de este modelo se centra España con el Plan Energético Nacional de 1975 (PEN-75).

El modelo eficiencia-energía establece como objetivo principal la evaluación de impactos de las políticas energéticas a partir de distintos escenarios, utilizando como herramientas metodológicas modelos descriptivos de simulación basados en enfoque de sistemas, tales como: EnergyPLAN, LEAP, MARKAL, entre otras. Evalúa aspectos económico-ambientales con un enfoque de *“arriba hacia abajo”* y tiene alcance provincial, regional y nacional. El sector gubernamental es el actor principal y conducente del proceso. Como ejemplos se encuentran los mencionados por los autores Lund (2010) y Alagialoglou (2011).

El modelo energía-sustentabilidad busca evaluar y formular políticas de energéticas con criterios múltiples, se apoya en herramientas como: evaluación multicriterio, Sistemas de información geográfica y sistema de soporte de decisiones. Evalúa los aspectos de ambiente, economía y sociedad con procesos tanto de *“arriba hacia abajo”* como de *“abajo hacia arriba”*. La escala puede ser provincial, regional y nacional y distingue entre los actores involucrados en el proceso a: autoridades locales, inversores potenciales, representantes de la comunidad local, instituciones académicas y grupos ambientales. Múltiples ejemplos de este modelo se encuentran disponibles a nivel mundial, entre los que se pueden nombrar: Belmonte (2009), Quijano (2011), Rodríguez (2012), Kothari (2015) , Hiloidhari (2018) y Ramachandra (2018).

En lo que respecta a la promoción e incorporación de las ER en diversa escala, los procesos de planificación energética tienen un rol fundamental, ejemplo de esto puede observarse en lugares tales como India (Ramachandra, 2009), China (Xiaohua y Zhenmin, 2002) y países de la Unión Europea (Domínguez Bravo et al., 2007). Dado el importante potencial de las ER como motor de desarrollo, al margen de los criterios ambientales y sociales, se reconoce que la planificación energética se encuentra inserta en un escenario multiactoral, complejo y multi-objetivo. Entre las principales actividades a realizarse dentro de este marco se distinguen: el trabajo colaborativo, la incorporación de la visión territorial en el abordaje de las ER, desarrollo de diagnósticos participativos, mapeo y evaluación de los recursos disponibles, monitoreo de los proyectos de transferencia, interacciones en los aspectos sociales, ambientales, institucionales y técnicos para el desarrollo y apropiación de ER (Belmonte et al., 2017).

2.3 Software libre y metodologías ágiles de desarrollo de software

¿Qué es el software?

A lo largo de la historia de la humanidad, existen numerosos avances tecnológicos, tales como la escritura, la lectura, la televisión, entre otros, que han influido en cambios radicales de las sociedades. En la actualidad, la tecnología cultural más importante del siglo XXI es, sin duda, la computadora; la cual ha cambiado la manera en la que interactuamos entre las personas, como seres sociales.

Hoy por hoy, resulta casi imposible pensarnos sin software, pues lo usamos en todos los aspectos de nuestras vidas: el software está presente en nuestros ordenadores personales, en nuestros teléfonos celulares, tablets y otras herramientas, como cajeros automáticos, trenes, autos, electrodomésticos. Esto demuestra que, en la actualidad, el software cumple un rol fundamental en el funcionamiento de nuestra sociedad. Si otros controlan esta herramienta tan importante para nosotros, son capaces de ejercer una gran influencia sobre nuestros actos; pues, quien decida cómo funciona el software influye, notablemente, en la forma en que vivimos y trabajamos.

Software “libre” versus software “privativo”

En líneas generales, a la hora de elegir un software debemos escoger entre aquellos denominados "libres" y los "privativos". Si bien en el interior de cada uno de estos grandes grupos existen diferencias

notables en torno a la concepción de los mismos y el tipo de licencias que utilizan, la distinción esencial entre ambos ("libres" y "privativos") radica en la posibilidad de disponer y hacer uso del código fuente. El código fuente es el conjunto de instrucciones escritas en lenguaje de programación, pasibles de modificación y alteración; mientras que el código objeto es el conjunto de instrucciones binarias a ser ejecutadas por la máquina.

Richard Stallman, el fundador del movimiento de Software Libre, resume en cuatro puntos las características esenciales que debía reunir un programa para entrar dentro de la categoría de "libre" (Stallman, 2014):

- La libertad de usar el programa, con cualquier propósito (libertad 0).
- La libertad de estudiar el funcionamiento del programa y adaptarlo a las necesidades (libertad 1).
- El acceso al código fuente es una condición previa para esto. La libertad de distribuir copias, con lo que puede ayudar a otros (libertad 2).
- La libertad de mejorar el programa y hacer públicas las mejoras, de modo que toda la comunidad se beneficie (libertad 3).

De igual forma que la libertad 1, el acceso al código fuente es un requisito previo (Gay, 2002). A Stallman le interesa, especialmente, aclarar las confusiones surgidas en torno a la ambigüedad del término "libre" ("free": libre/gratis en inglés). La gratuidad no es condición necesaria para que un software sea considerado libre, sino básicamente el respeto de estas cuatro "libertades". Disponer libremente del programa, tener acceso a su código fuente para adaptarlo a necesidades específicas y poder distribuir copias del mismo, constituyen los elementos imprescindibles.

Pero, ¿a qué obedece esta preferencia por el Software Libre? La respuesta trasciende el plano meramente tecnológico y se sitúa en cambio, en un posicionamiento ético. Se orienta en torno a una visión ideal del hombre y de las relaciones que debe establecer con sus pares. Un "deber ser" que se transforma en una utopía orientadora de la acción humana.

La compleja relación entre tecnología, ciencia y ética ha sido abordada, desde distintas perspectivas, por múltiples autores. Tradicionalmente, la comunidad científica solía tomar por cierto que si bien ética y tecnología presentaban una relación estrecha (en tanto la tecnología implica la aplicación concreta de los descubrimientos científicos), la ciencia asumía una posición de independencia ética, catalogándose de neutral o amoral (Serna, 1997). Mario Bunge (1996), desde la producción científica y la reflexión filosófica, ha contribuido a complejizar esta relación poniendo en evidencia que el proceso de investigación científica, en tanto acción social, contiene una innegable carga moral: *"La ciencia puesta al servicio de la destrucción, la opresión, el privilegio y el dogma- fuerzas armadas, trusts, partidos o iglesias- puede ser muy eficaz y hasta creadora en cierto respectos limitados (...) no absolvamos entonces, a los científicos que ayudan a empujar a sus semejantes a la guerra, a la miseria, a la opresión o a la conformidad con un dogma cualquiera..."*

Para Bunge (1996), el proceso de investigación y la actividad científica deben estar guiados por ciertos principios rectores que garanticen su adecuación ética: honestidad intelectual, independencia de juicio, coraje intelectual, amor por la libertad intelectual, sentido de la justicia.

En abierta contradicción con los apologistas y productores privativos, el movimiento de Software Libre comparte los principios básicos enunciados por Bunge. Por su parte Stallman (2010, 2014) estructura su propuesta en torno a tres ejes fundamentales: libertad, cooperación y transparencia. Antes que la eficiencia del producto, es en estos tres criterios éticos que se asienta la raíz del movimiento y su razón de ser. Estos tres criterios, al mismo tiempo, son esenciales para el pensamiento y la conformación de una sociedad auténticamente democrática:

- **Libertad:** Las cuatro libertades enunciadas por Stallman se encuentran en el corazón del movimiento. Al mismo tiempo el conocimiento del código fuente constituye un reaseguro frente a potenciales tendencias autoritarias de las corporaciones monopólicas. Se han visto casos en los que el secreto del código ha sido utilizado para extraer información de los computadores sin autorización, violando el derecho a la privacidad de los usuarios.
- **Cooperación:** La apertura del código permite la colaboración de múltiples consumidores y productores de software, lo cual se verifica en los distintos repositorios virtuales en los que interactúan. A través de su propio despliegue, el movimiento de Software Libre transmite un valor esencial para la práctica democrática.
- **Transparencia:** Constituye un elemento central de la filosofía y la práctica del Software Libre, en tanto para entrar dentro de tal categoría exige la transparencia del código fuente y los procesos que desarrolla. La transparencia en materia de política pública constituye además un requerimiento esencial de los sistemas democráticos y la consolidación de la ciudadanía política. De hecho, democracia, ciudadanía y transparencia se encuentran inextricablemente ligadas: *"Una no es posible sin las otras. Transparencia y democracia requieren, primero para existir y luego para funcionar adecuadamente, una ciudadanía activa y participativa, y esta última requiere transparencia y democracia para actuar y participar con libertad"* (Serna, 1996).

De lo expuesto anteriormente, se desprende que existe una clara correspondencia entre los valores democráticos y los del movimiento del Software Libre, tal es así que se asumen como una necesidad para cualquier sociedad en busca de una democracia más amplia.

El Software libre como estructura democrática superadora

Este movimiento es, en sí mismo, un ejemplo de democracia superadora, por la infraestructura de red empleada que posibilita la vinculación de las personas sin establecer privilegios basados en el capital que cada persona acopia; reconoce una relación de igualdad y liberación, en la cual cada ser es una singularidad, pero a través de la organización en red se es también un miembro de la multitud.

Negri y Hardt (2000), en sus libros *Empire* y *Multitude* presentan cómo el comportamiento del movimiento de software libre refleja un nuevo tipo de democracia superadora en términos de eficiencia y eficacia en los resultados alcanzados:

“...Según hemos notado antes con respecto a la inteligencia en enjambre (“swarm intelligence”), somos más inteligentes juntos que cualquiera de nosotros solos. El importante punto aquí es que el código abierto, la programación colaborativa, no lleva a confusión o pérdida de energía. Realmente funciona. Un acercamiento para entender la democracia de las multitudes es, entonces, una sociedad de código abierto, donde el código fuente es revelado a la sociedad para que todos puedan trabajar colaborativamente y resolver los problemas creando y mejorando programas sociales...” (Negri, 2000).

Tal como sugieren los autores, la programación colaborativa (Negri, 2004) no es ineficiente, sino que por el contrario potencia los esfuerzos; tal es el caso de la internet, considerada como el mayor avance tecnológico de la historia, no tanto por lo que es en sí misma, sino por la impensable potencialidad que brinda a la humanidad. Tal vez, su característica más notable es la de ofrecer una red democrática, horizontal y descentralizada, donde cualquier persona con un editor de texto y una conexión a internet puede colaborar y, en última instancia, decidir.

El movimiento libre no solamente emplea Internet para organizarse y distribuirse, sino que, a su vez, es la infraestructura de la Internet. Los servidores más frecuentemente utilizados son Sistemas Operativos basados en Linux, el servidor web por excelencia es Apache y el navegador web más conocido y utilizado por el mundo es Firefox; todos libres. En definitiva, la constitución de una sociedad auténticamente democrática en la que la tecnología ocupa un lugar preponderante debe incluir el software como una de sus áreas prioritarias. La filosofía que sostiene a la tendencia libre brega por el progreso de la tecnología al servicio de la humanidad, sin distinciones ni privilegios. Y no sólo entiende al conocimiento como un derecho, sino que genera estructuras de participación horizontales y descentralizadas, proponiendo caminos factibles en la construcción de un mundo solidario, justo y libre.

En contraste, el movimiento privativo, busca controlar el acceso a la información, defendiendo de esa manera el poder trascendental heredado y evitando cualquier cuestionamiento a su soberanía. Se escuda en mecanismos artificiales como el oxímoron publicitario: “propiedad intelectual”, que avala y refuerza la idea de que el conocimiento es un bien económico apropiable. El término de “propiedad intelectual” fue acuñado por primera vez en 1886 en el conocido “Convenio de Berna para la protección de las Obras Literarias y Artísticas”. En aquella época donde los gastos de edición, publicación y transporte de obras literarias eran muy elevados, es natural que se buscaran mecanismos para fomentar y salvaguardar las actividades de los literatos y artistas. Sin embargo, en la actualidad las circunstancias que llevaron a acuñar y dotar de contenido a este término, han cambiado completamente: actualmente, gracias a Internet, publicar, editar y hacer global un

libro, una canción, una imagen, un software o cualquier producción literaria o artística en general tiene un costo despreciable y por ende tal modificación de la realidad debería ser reflejada en los convenios.

En una sociedad donde el conocimiento es propiedad privada, las desigualdades educativas se incrementan. Esto es así, porque cuando se cierra el conocimiento y se imponen cánones para su acceso, cada persona tiene acceso a lo que puede pagar. Cada persona vale en función de los conocimientos adquiridos. Esto incluye el pago de los "servicios educativos" y el valor de los contenidos. Quien más puede pagar accede a más y mejor información, lo que sienta las bases de una sociedad mucho más injusta y desigual, llevándonos en definitiva a recrear una sociedad cerrada y antidemocrática.

Metodologías ágiles de desarrollo de software

Una metodología de ingeniería de software es el marco usado para estructurar, planificar y controlar el proceso de desarrollo de un sistema informático. Se ocupa de definir el ¿qué?, ¿cómo?, ¿cuándo?, ¿quién? El mismo cubre todos los aspectos involucrados, desde la definición de especificaciones a la estructura de los artefactos que serán usados por los miembros del proyecto durante el proceso de desarrollo.

Las metodologías clásicas de ingeniería solicitan la enunciación confiable y estable de requerimientos, un listado rígido de las necesidades y procesos que debe cubrir el Sistema Informático. Exige certezas que nadie, ni el máximo experto en el área, posee. Es por esto que fallan muchos proyectos de desarrollo de software científico y de investigación. Lo ideal es lograr un trabajo sincronizado donde el desarrollo se lleve a la par de los experimentos (a los que sirve) y donde el análisis se nutre de las conclusiones obtenidas a partir de los resultados de la investigación.

Para evitar caer en este tipo de contrariedades, se decidió adoptar una metodología ágil de desarrollo iterativo. Tales metodologías en contraposición con las clásicas aceptan el cambio, es bienvenido e intentan aprovecharlo, incluso lo fomentan. En los procesos ágiles se reconoce el rol creativo de todas las personas involucradas en el mismo y se pone énfasis en la mejora de los integrantes individuales y del equipo de trabajo.

Entre las metodologías ágiles, por ajustarse particularmente bien a las posibilidades y necesidades de este trabajo, se elige la metodología Crystal Clear (Cockburn, 2.004). La misma es considerada modelo de metodología ágil y liviana, fácil de implementar y con numerosos ejemplos de éxito. Está pensada para ser aplicada a equipos pequeños, se centra en las personas y no en los procesos o artefactos como las metodologías clásicas. Demanda las siguientes propiedades:

- Entregas frecuentes de versiones útiles: Las entregas frecuentes permiten estructurar las prioridades a la hora de desarrollar los módulos de software y a su vez, facilita la detección temprana de errores de interpretación, análisis y diseño, así como de codificación.
- Mejoras reflexivas del sistema y de la metodología: Las personas, la tecnología y las responsabilidades pueden cambiar durante el curso de un proyecto, por lo que las convenciones que

el equipo utiliza para encarar el proyecto necesitan ser modificadas para poder amoldarse a tales cambios.

- Comunicación osmótica, por proximidad e interrelación del equipo: Significa que la información fluye en el entorno. Cuando la comunicación en el lugar de trabajo es osmótica, las preguntas y respuestas fluyen naturalmente sin mayores perturbaciones al equipo.

A su vez, esta metodología define roles necesarios a ser adoptados por el grupo de investigación y desarrollo; junto con sus características y responsabilidades. La Tabla 2.1 presenta un breve resumen de estos aspectos.

Tabla 2.1 Roles y características definidas por la metodología.

Rol Crystal Clear	Características
Patrocinador Ejecutivo (Executive Sponsor)	Encargado de mantener en mente una visión a largo plazo, equilibrando las prioridades a corto plazo con las entregas subsiguientes, la evolución del equipo de desarrollo y el mantenimiento del sistema.
Embajador Usuario (Ambassador User)	Este rol, es ocupado por la persona que se encuentra familiarizada con los procedimientos operativos y las funciones necesarias del sistema. Saber cuál es la manera en que se realizan las operaciones, los atajos necesarios que debe incluir el sistema, y qué información debe estar visible en la pantalla
Diseñador Jefe	Por lo general, la persona con mayor experiencia en el desarrollo y programación de sistemas, es la que ocupa este rol. Asimismo, es la encargada de mantener delimitadas las prioridades del equipo de desarrollo.
Diseñador-Programador	Encargado de diseñar la interacción entre las funcionalidades, que serán traducidas en módulos de programación. Y a su vez, de programarlas.

2.4 Sistema de soporte a las decisiones

El concepto de Sistema

Los orígenes de la palabra sistema se remontan a la palabra latina *systema* y esta a su vez del griego *σύστημα* (reunión de cosas en forma organizada). Actualmente el término tiene un uso sumamente difundido y variado, llegando a penetrar en el pensamiento y el habla popular cotidiana. Es cuestión de buscar someramente para encontrar muchas definiciones, entre ellas:

"Sistema es una totalidad organizada, hecha de elementos solidarios que no pueden ser definidos más que los unos con relación a los otros en función de su lugar en esa totalidad" (Ferdinand de Saussure, 1931).

"Un sistema es un grupo de componentes que pueden funcionar recíprocamente para lograr un propósito común. Son capaces de reaccionar juntos al ser estimulados por influencias externas. El sistema no está afectado por sus propios egresos y tiene límites específicos en base de todos los mecanismos de retroalimentación significativos" (Spedding, 1979).

“Un sistema es un conjunto de elementos interrelacionados de modo tal que producen un resultado superior a la simple agregación de los elementos y distinto de ella” (Saroka y Collazo, 1996).

“Sistema es un todo integrado, aunque compuesto de estructuras diversas, interactuantes y especializadas. Cualquier sistema tiene un número de objetivos, y los pesos asignados a cada uno de ellos pueden variar ampliamente de un sistema a otro. Un sistema ejecuta una función imposible de realizar por una cualquiera de las partes individuales. La complejidad de la combinación está implícita” (IEEE Standard Dictionary of Electrical and Electronic Terms).

Dada la diversidad de significados, resulta conveniente precisar con claridad el concepto general de “sistemas” que se adopta en esta presentación. La misma corresponde a la dada por el físico, filósofo, epistemólogo y humanista argentino Mario Bunge (1997):

“Un sistema es, en efecto, un objeto complejo estructurado, cuyas partes están relacionadas entre sí por medio de vínculos (estructura) pertenecientes a un nivel determinado.”

Desde la epistemología sistémica, la cual se encuentra alineada con la Teoría General de Sistemas, Bunge defiende que el mundo es un sistema de sistemas, es decir que toda cosa concreta (todo lo que existe) es un sistema o parte de algún sistema. Todo lo que existe es material, pero las propiedades de los existentes son diversas: las hay físicas, químicas, biológicas, psicológicas y sociales. Estas propiedades emergentes de los sistemas materiales (o concretos) permiten distinguir diferentes niveles ontológicos (físico, químico, biológico, etc.) relacionados por una multitud de procesos, pero irreducibles unos a otros.

Establece que la manera de reconocer si una cosa u objeto es un ente simple, o bien un mero agregado (o conglomerado), o bien un sistema, es mediante los siguientes criterios (Bunge, 1980):

- **Primer criterio:** Una cosa es un sistema si y sólo si se comporta como un todo en ciertos aspectos, o sea, si tiene leyes propias en cuanto totalidad.
- **Segundo criterio:** Una cosa es un sistema si y sólo si su comportamiento cambia apreciablemente cuando se quita uno de sus componentes o se reemplaza por otro de clase diferente.

Para conocer un sistema, Bunge aplica el enfoque CESM. La investigación de un sistema concreto requiere la construcción de un modelo que consiste en la descripción de la composición (C), el entorno (E), la estructura (S) y el mecanismo (M) del sistema:

- La composición (C) de un sistema es la colección de sus partes y se las llama componentes.
- El entorno (E) es la colección de cosas que modifican a los componentes del sistema o que resultan modificados por ellos, pero que no pertenecen a la composición.
- La estructura (S) es la colección de relaciones o vínculos que establecen los componentes. Los vínculos que se dan entre los componentes de un sistema conforman la endoestructura, mientras que los establecidos entre los componentes y elementos del entorno conforman la exoestructura del sistema.

- El mecanismo (M) es la colección de procesos que se dan dentro de un sistema y que lo hacen cambiar en algún aspecto.

Sistema de Información

Antes de adoptar una definición de Sistema de Información (SI) resulta interesante trasladar el enfoque CESM, para poder aplicarlo en este sistema en particular:

- a) La composición (C) hace referencia a los elementos básicos de todo Sistema de Información e incluye:
 - Subsistema Físico: donde el SI realiza el tratamiento de datos y proporciona funciones básicas de entrada, salida, almacenamiento y procesamiento de datos.
 - Subsistema Lógico: Conjunto de instrucciones, que le dictan al subsistema físico la manera de actuar.
 - Subsistema de Datos: Conjunto de datos a partir del cual, luego de someterlos a ciertos procesamientos, se obtendrá información.
 - Subsistema Humano: formado por las personas tanto que mantienen el Sistema de Información como aquellos que lo utilizan.
 - Subsistema de Procedimientos: Rutinas organizativas relativas a la manera de trabajar.
- b) El entorno (E): Está constituido por la organización donde es utilizado el Sistema de Información y todos aquellos Sistemas de los cuales forma parte y a su vez aquellos con los cuales interactúa.
- c) La estructura (S): Es manejada por el Subsistema Lógico el cual determina la manera de interactuar de los elementos.
- d) El mecanismo (M): Es regido por el Subsistema de Procedimientos.

Si el Sistema de Información se encuentra soportado por un Sistema Informático se habla de un Sistema de Información Informatizado. Muchos autores no hacen tal distinción entre uno y otro pues reconocen que la informática ha penetrado en todas las disciplinas. Sin embargo, en esta presentación resulta de importancia mostrar la jerarquización de los diferentes sistemas involucrados para mantener la fidelidad con la definición de sistema adoptada.

Según Andreu et al. (1991): *“Un Sistema de Información es el conjunto de recursos humanos, materiales, financieros, tecnológicos, normativos y metodológicos, organizados para brindar, a quienes operan y a quienes adoptan decisiones en una Organización, la Información que requieren para desarrollar sus respectivas Funciones, ayudando a la organización a trabajar más inteligentemente”.*

Es decir que un SI obtiene, mantiene y procesa datos según lo estipulado por aquellos que operan esperando generar información para quienes toman decisiones en una Organización. En este sentido los SI se vinculan con el mundo de los Sistemas de Soporte a la Decisión (SSD) tal como lo afirman Gutiérrez Puebla y Gould (1994) quienes reconocen como el objetivo final de la creación y desarrollo permanente de los SI, el de facilitar la información adecuada en el momento oportuno para la toma de decisiones.

Sistema de información geográfica (SIG)

Los SIG forman parte del ámbito de los SI; representan una nueva tecnología ampliamente difundida actualmente, en particular entre los profesionales que trabajan en la planificación o en la resolución de problemas socioeconómicos y del medio ambiente. Los SIG no tienen una definición que pueda contemplar todas las expectativas de los usuarios; por lo tanto, podemos afirmar que hay acaso tantas definiciones como autores que escriben sobre el mundo de los SIG (Gutiérrez Puebla y Gould, 1994), entre ellas:

“Un SIG no es un campo en sí mismo, más bien la base común entre procesos de la información y los campos que utilizan técnicas de análisis espacial” (Tomlinson, 1972).

“Un caso especial de sistema de información en el que la base de datos consiste en observaciones sobre elementos, actividades o sucesos distribuidos espacialmente, que se pueden definir en el espacio como puntos, líneas o áreas. Un SIG manipula los datos sobre puntos, líneas y áreas, recuperando los datos para preguntas ad hoc y análisis” (Duecker, 1979).

“Un conjunto de procedimientos manuales o computarizados usado para almacenar y tratar datos referenciados geográficamente” (Aronoff, 1989).

“Una entidad institucional reflejo de una estructura organizativa que integra tecnología con una base de datos, expertos y una financiación continua en el tiempo” (Carter, 1989).

“Sistema de información diseñado para trabajar con datos georreferenciados mediante coordenadas espaciales o geográficas. En otras palabras, un SIG es a la vez una base de datos con funcionalidades específicas para datos referenciados espacialmente y un conjunto de operaciones para trabajar con los datos” (Star y Estes, 1990).

“Un sistema de hardware, software y procedimientos diseñado para realizar la captura, almacenamiento, manipulación, análisis, modelización y presentación de los datos referenciados espacialmente para la resolución de problemas complejos de planificación y gestión” (National Center for Geographic Information and Analysis - NCGIA, 1990).

“Un Sistema de Información es la base para la creación de modelos instrumentales, e incluso el propio Sistema de Información es un modelo instrumental. En un Sistema de Información caben modelos matemáticos, ecológicos, estadísticos, etc., constituyendo éstas las partes del modelo instrumental global que es el Sistema de Información” (Moldes, 1995).

De las definiciones anteriores se desprende que un SIG es un SI diseñado para trabajar con datos georreferenciados según un sistema de referencia terrestre, es decir, con datos geográficos. Un SIG funciona como una base de datos con información geográfica (datos alfanuméricos), que se encuentra asociada por un identificador común a los objetos gráficos de un mapa digital. De esta forma, señalando un objeto se conocen sus atributos e, inversamente, preguntando por un registro de la base de datos se puede saber su localización en la cartografía.

La razón fundamental para utilizar un SIG es la gestión de información espacial. El sistema permite separar la información en diferentes capas temáticas y las almacena independientemente, permitiendo trabajar con ellas de manera rápida y sencilla, y facilitando al profesional la posibilidad de relacionar la información existente a través de la topología de los objetos, con el fin de generar otra nueva que no podríamos obtener de otra forma. La Geografía es el elemento clave para organizar los datos y analizar la información que será generada en el proyecto que utilice como base a un SIG. Esta característica es la que diferencia básicamente a los SIG de otros sistemas de información (Núñez, 2000).

Con frecuencia se suelen confundir a los SIG con ciertas herramientas informáticas como los programas para diseño asistido por computadoras, los de cartografía automática, los sistemas de gestión de bases de datos y los sistemas para el tratamiento digital de imágenes de satélites. Todos los sistemas mencionados son de creación anterior a los SIG, y a partir de aquellos es que estos han evolucionado, determinando que ciertas características se compartan y otros rasgos los diferencien.

Sistema de Soporte a las Decisiones

Los Sistemas de Soporte a las Decisiones (SSD) son sistemas de información informatizados unidos a una base de modelos que ayudan en el proceso de toma de decisiones. La modelización es la función primaria de todo SSD, porque permite crear modelos ad hoc y escenarios que representen situaciones reales. Esos escenarios ayudan a explorar alternativas y examinar en la computadora las consecuencias de las diferentes posibles decisiones, antes de ponerla realmente en práctica. Esta capacidad de explorar y ensayar múltiples alternativas -de responder a interrogantes sobre situaciones hipotéticas- es la potencialidad del SSD.

El sistema de administración de modelos incluye funciones de minería de datos, estadística y matemática que ayudan a construir los modelos. Un SSD no soluciona problemas, ya que solo brinda información para aquellos que están dentro del circuito de decisiones. La responsabilidad de tomar una decisión, de optarla y de realizarla es de los usuarios, no del SSD. Así pues, los SSD son aplicables a decisiones semi-estructuradas en donde se presentan etapas perfectamente procesables por una máquina y otras en las que solamente el criterio personal puede actuar.

Un SSD pone el énfasis en el uso de la información para aumentar la eficacia y minimizar el riesgo en el proceso decisional. Es un marco de análisis útil para abordar las problemáticas multidimensionales. El apoyo a una decisión significa ayudar a las personas que trabajan solas o en grupo a generar alternativas y tomar decisiones priorizándolas, mediante el apoyo a la estimación, la evaluación y/o la comparación de alternativas (Ramírez Rosado et al., 2008). Existen ejemplos de aplicación de SSD en diversas temáticas socio-ambientales: estimación de la evapotranspiración de referencia (Bandyopadhyay et al., 2012), planificación y manejo de reservorios de agua (Soncini-Sessa et al., 2003), toma de decisiones en contextos políticos (Anderson et al., 2012), planificación de manejo de suelos para evitar su compactación (Bochtis et al., 2012) y, en aspectos

relacionados con adaptación al cambio climático (Wenkel et al., 2013). En sus diversas aplicaciones, los SSD están fuertemente vinculados a procesos de planificación, gestión y evaluación territorial.

Sistemas de soporte a las decisiones basados en SIG para ER

Los SSD basados en SIG son una herramienta crucial para la gestión energética. La distribución espacial de los recursos renovables, su dependencia con las características del sitio y su conexión con otros atributos espacio-temporales, hacen de este tipo de herramientas un elemento clave para la planificación y gestión de las energías renovables. Esto se puede observar en múltiples estudios alrededor del mundo, entre ellos: España (Guerra y Dominguez, 2005), India (Ramachandra, 2007), Grecia (Voivontas, 1998) y Colombia (Quijano Hurtado y Dominguez Bravo, 2008).

Estos sistemas permitan apoyar la toma de decisiones en interrogantes tales como: *¿qué tecnologías resultan las más adecuadas para resolver una determinada demanda energética?, ¿qué potencial tiene un determinado recurso para la generación de energía eléctrica o térmica en dadas condiciones?, ¿cuál sería el sitio óptimo para la localización de un emprendimiento energético específico?, ¿cómo influye el uso de energía renovable en la mitigación local del cambio climático?* (Proyecto PIP, 2017). En este sentido, resultan especialmente necesarios cuando las ER son el foco de atención.

Según señalan Frikh et al. (2014), las principales funciones para SSD en energías renovables son:

- a. Integración de técnicas de análisis de decisiones con acceso y administración de datos.
- b. Facilidad de uso, es decir, que sea amigable especialmente para los tomadores de decisiones.
- c. Adaptativa a los posibles cambios en el contexto de toma de decisiones, así como ajuste en las políticas y modificaciones en las preferencias de los actores sociales.
- d. Modo interactivo que permita la toma de decisiones en tiempo real.

Los SSD posibilitan integrar las dimensiones tiempo y espacio en un mismo sistema debido a la estrecha relación de las fuentes limpias con el lugar en donde se encuentran. En el contexto argentino, se pueden observar algunas aplicaciones web basadas en SIG usadas para el soporte en la toma de decisiones en el ámbito minero, educativo y energético (considerando puramente las fuentes de energía convencionales) (SIGAM, 2017; Mapa.educacion.gob.ar, 2015; Sig.se.gob.ar, 2016). Dichas aplicaciones web permiten la visualización de distintas capas para el análisis espacial y el procesamiento entre dichas capas. Sin embargo, no se ha registrado hasta el momento algún SSD destinada primordialmente a las ER y que a su vez integre la posibilidad de unificar el procesamiento espacial y temporal de los recursos y las tecnologías renovables.

Como caso motivador es preciso mencionar la experiencia de Chile, que desarrolló una herramienta de apoyo a la toma de decisiones para la energía solar fotovoltaica y térmica tomando datos históricos satelitales de irradiación solar (Molina, 2017). Dicha aplicación web posibilita hacer simulaciones con variantes de instalaciones fotovoltaicas y de calefones, obteniendo los resultados de rendimiento técnico y financiero. La metodología utilizada para el desarrollo de esta herramienta, surgió a partir de la estrecha vinculación inter-

institucional tanto en el ámbito nacional como internacional, tal es así que en la aplicación se reconoce que “esta herramienta es el resultado de una estrecha y prolongada colaboración entre el Ministerio de Energía, la Sociedad Alemana para la Cooperación Internacional (GIZ) y el Departamento de Geofísica de la Universidad de Chile, así como también de la Corporación Nacional Forestal y la Universidad Austral de Chile, la Dirección General de Aguas (DGA) y el Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada (SHOA)” (Ernc.dgf.uchile.cl, 2018).

2.5 Referencias del capítulo

- A. Molina, M. Falvey, R. Rondanelli. A solar radiation database for Chile. Scientific Reports, 7 (2017). Article number: 14823. 10.1038/s41598-017-13761-x
- Alagialoglou N. “Technical Optimisation of the Greek Interconnected Energy System of 2020 using EnergyPLAN model”. <https://www.energyplan.eu/technical-optimisation-of-the-greek-interconnected-energy-system-of-2020-using-the-energyplan-model/>. 2011.
- Amador, J. y Domínguez, J. “Application of GIS to rural electrification with RES”. Renew Energy 30: 1897–1912.2005.
- Andersson, A.; Grönlund, A. y Åström, J. 2012. “You can't make this a science!” Analyzing DSS in political contexts. Government Information Quarterly 29 (4):543-552.
- Argentina Innovadora 2020. Plan Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación. “Lineamientos estratégicos 2012–2015. Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva”. Secretaría de Planeamiento y Políticas en Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva. Presidencia de la Nación. Available at: <http://www.mincyt.gob.ar/adjuntos/archivos/000/022/0000022576.pdf>.
- Arnette, A.N. “A Spatial DSS for the Development of Multi-Source Renewable Energy Systems.Dissertation”.Virginia Polytechnic Institute and State University. United States. 2010.
- Bandyopadhyay, A.; Bhadra, A. y Swarnakar, R.K. “Estimation of reference evapotranspiration using a user-friendly decision support system: DSS_ET”. Agric Forest Meteorology 154-155: 19-29. 2012.
- Becker, B. and Fischer, D. 2013. “Promoting renewable electricity generation in emerging economies”. Energy Policy 56:446–455.
- Belmonte S. “Evaluación multicriterio para el uso alternativo de energías renovables en la Ordenación Territorial del Valle de Lerma” [Ph.D. tesis]. Doctorado en Ciencias – Área Energías Renovables – Facultad de Ciencias Exactas – Universidad Nacional de Salta. 2009.
- Belmonte S. “Herramientas y Estrategias para la Gestión Territorial. Propuestas basadas en una Experiencia Local: Valle de Lerma – Salta”. V Jornadas Latinoamericanas sobre Medio Ambiente. 2009.
- Belmonte, S. y Núñez V, Viramonte J. “Talleres multidisciplinarios y multisector-iales – Ordenación Territorial del Valle de Lerma”. Argentina: XX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo Salta-Jujuy. 2006.

- Bochtis, D.D.; Sørensen, C.G. y Green, O. "A DSS for planning of soil-sensitive field operations". *Decision Support Systems* 53 (1): 66-75. 2012.
- BP (Beyond Petroleum). "Statistical Review of World Energy of 2012". www.bp.com/statisticalreview. 2012.
- Bunge, M.A. "Ética, ciencia y técnica". Madrid, Sudamericana. 1996.
- Cockburn, A. "Crystal clear a human-powered methodology for small teams". https://www.researchgate.net/publication/234820806_Crystal_clear_a_human-powered_methodology_for_small_teams. 2004.
- Colombi Speroni F. y Xamena C. Compiladores. "Ordenamiento Ambiental del Territorio – Participación Ciudadana. Publishing house: Universidad Católica de Salta". EUCASA. Salta, Argentina; p. 39-76. 2011.
- Conesa Fernández Vítora V. "Instrumentos de la Gestión Ambiental de la Empresa". Madrid, España: Publishing house: Mundi – Prensa. 1997.
- Cosmi, C., Macchiato, M. "Environmental and economic effects of renewable energy sources use on a local case study". *Energy Policy* 31(5): 443-457. 2003.
- Cruz, I. G.; Sauad, J.;Belmonte, S. y Condori, M. "Sobre experiencias de planificación energética y de energías renovables:¿ es necesario ampliar la perspectiva de análisis?". ASADES 2013-XXXVI.Reunión de Trabajo-Tucuman. 2013.
- Dagnino, Renato; Thomas, Hernán and Davyt, Amílcar. "El pensamiento en ciencia, tecnología y sociedad en Latinoamérica: una interpretación política de su trayectoria". *Redes*, vol. 3, no 7, p. 13-51. 1996.
- Domínguez Bravo, F. "La integración económica y territorial de las energías renovables y los SIG". Tesis profesional. Universidad Complutense de Madrid. 2002.
- Domínguez Bravo, J. y García Casals, X. "GIS approach to the definition of capacity and generation ceilings of renewable energy technologies". *Energy Policy* 35(10): 4879-4892. 2007.
- Emmerich, G.; Elizondo, C.; Emmerich; C.E; Eduardo,L. "Democracia, ciudadanía y transparencia".2005.
- Ernc.dgf.uchile.cl. (2018). Explorador Solar. [online] Available at: <http://ernc.dgf.uchile.cl:48080/inicio> [Accessed 11 Oct. 2018].
- Escalante KN, Belmonte S, Gea MD." Determining factors in process of socio-technical adequacy of renewable energy in andean communities of Salta, Argentina". *Renew Sustain Energy Rev* 2013;22:275–88.
- Floreál Forni. Formulación y evaluación de proyectos de acción social. Documento N1 21. Serie documentos de trabajo. Instituto de Investigación en Ciencias Sociales (IDISCO). Facultad de Ciencias Sociales. Universidad del Salvador, (<http://www.salvador.edu.ar/csoc/idisco>); 2012.
- Folgueiras Bertomeu P. Taller: Métodos y técnicas de recogida y análisis de información cualitativa. Buenos Aires (www.fvet.uba.ar/rectorado/postgrado/especialidad/power_taller.pdf); 2009.
- Free Software Foundation. <https://fsfe.org/freesoftware/society/democracy.es.html>.2.015.
- Frikh, B.; Sellak, H.; Dadda, A. y Ouhbi, B. "A decision support system applied to renewable energy field". 2014.

- Fundación Salta. "Informe final del Plan de Desarrollo Estratégico de Salta 2030". Salta, http://www.consejosalta.org.ar/wp-content/uploads/1-Plan_Estrategico_Area_Social.pdf; 2013.
- Garrido S.; Lalouf A. y Thomas H. "Políticas públicas para la inclusión social basadas en la producción de energías renovables. De las soluciones puntuales a los sistemas tecnológicos sociales". Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente. 16:12.27–34. 2014.
- Garrido S.; Lalouf A. y Thomas H. "Resistencia y adecuación socio-técnica en los procesos de implementación de tecnologías. Los dispositivos solares en el Secano de Lavalle". Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente. 15:12.01–10. 2011.
- Garzón, Al. "Democracia Transparencia". 25–26. 7. <http://www.voltairenet.org/article125559.html>. 2016.
- Gay, Joshua. "Free Software, Free Society: Selected Essays of Richard M. Stallman Boston". Massachusetts: GNU Press. 2002.
- GENREN. "Generación de energía eléctrica a partir de fuentes renovables". Argentina. <http://energia3.mecon.gov.ar/contenidos/verpagina.php?idpagina=3065>. 2007.
- Hiloidhari, M. "Emerging role of Geographical Information System (GIS), Life Cycle Assessment (LCA) and spatial LCA (GIS-LCA) in sustainable bioenergy planning". *Bioresource technology*, vol. 242, p. 218-226. 2017.
- Hiloidhari, M.; Araújo, K.; Kumari, S.; Baruah, D. C.; Ramachandra, T. V., Katak, R. y Thakur, I. S. "Bioelectricity from sugarcane bagasse co-generation in India—An assessment of resource potential, policies and market mobilization opportunities for the case of Uttar Pradesh". *Journal of Cleaner Production*, 182, 1012-1023. 2018.
- Himri, Y. y Rehman, S. "Wind power potential assessment for three locations in Algeria". *Renew Sustain Energy Rev* 12(9): 2495-2504. 2008.
- International Renewable Energy Agency (IRENA). "A Roadmap to 2030". Working paper. 2013.
- James, C. "The Clean Energy Report: State of the Argentine industry of renewable energies". Santiago & Sinclair, Buenos Aires. Argentina. 2012.
- Juarez, P., y Becerra, L. "Alianzas socio-técnicas, estrategias y políticas para el desarrollo inclusivo y sustentable". In VI Congreso Latinoamericano de Ciencia Política. La investigación política en América Latina. Quito. Ecuador. 2012.
- Khan, M. I.; Chhetri, A.B. "Community-based Energy Model: A novel approach to developing sustainable energy". *Energy Sources Part B: Economics, Planning y Policy* 2(4): 353-370. 2007.
- Kothari, R., Pathak, V. V., Chopra, A. K., Ahmad, S., Allen, T., & Yadav, B. C. "Developments in Bioenergy and Sustainable Agriculture Sectors for Climate Change Mitigation in Indian Context: A State of Art". *The March beyond a Milestone*, 93. 2015.
- Lund H. "Renewable Energy Systems: The Choice and Modeling of 100% Renewable Solutions". 2010.

- Manos, B.; Partalidou, M.; Fantozzi, F.; Arampatzis, S.; Papadopoulou, O. "Agro-energy districts contributing to environmental and social sustainability in rural areas: evaluation of a local public–private partnership scheme in Greece". *Renew Sustain Energy Rev*.29:85–95.2014.
- Mapa Educativo Nacional. Ministerio de Educación, Cultura, Ciencia y Tecnología. <http://mapa.educacion.gob.ar/>. (Accedido el 28/11/2018).2015.
- Moormann, J. y Lochte-Holtgreven, M. "An approach for an integrated DSS for strategic planning". *Decision Support Systems* 10 (4): 401-411. 1993.
- Negri, A. y Hardt, M. "MULTITUD: Guerra y democracia en la era del Imperio", Editorial debate, Barcelona. 2004.
- Negri, A. y Hardt, M. "Imperio" Harvard University Press, Cambridge, Massachussets. 2000.
- Panichelli, L. y Gnansounou, E. "GIS-based approach for defining bioenergy facilities location". *Biomass Bioenergy* 32(4): 289-300. 2008.
- Pérez Serrano G. "Investigación cualitativa. Retos e Interrogantes". I Métodos. La Muralla S. A. Madrid, 1994.
- Prasad R, Bansalc R. & Raturia A. "Multi-faceted energy planning: A review". *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 38 686–699. 2014.
- Quijano Hurtado, R. y Domínguez Bravo, J. "Proyecto integrado para la planificación energética y el desarrollo regional de energías renovables en Colombia basado en SIG". Difusión Científica de la ULPGC. ISBN: 978-84-96971-53-0. 2008.
- Quijano R. "Diseño e implementación de una plataforma integrada de modelación para la planificación energética sostenible–MODERGIS : Estudio de caso Colombia". Tesis Doctoral. Universidad Nacional de Colombia. 2012.
- Rad, F. "On Sustainability in Local Energy Planning". Doctoral Thesis. Lund University, Sweden. 2011.
- Ramachandra , T. "RIEP: Regional integrated energy plan". *Renowable and Sustainable Energy*, 285-317. 2009.
- Ramachandra, T. "RIEP: Regional integrated energy plan". *Renew Sustain Energy Rev* ;13:285–317. 2009
- Ramachandra, T. V. "Energy Footprint of India: Scope for Improvements in End-Use Energy Efficiency and Renewable Energy". In *Energy Footprints of the Energy Sector* (pp. 77-107). Springer, Singapore. 2019.
- Ramachandra, T.V., Shruthi, V.B."Spatial mapping of renewable energy potential". *Renew Sustain Energy Rev* 11: 1460–1480. 2007.
- Ramírez E, et al. "Vinculación a Mercados Dinámicos de Territorios Rurales Pobres y Marginados". Fondo Mink'a de Chorlaví. 2007.
- Ramírez-Rosado, I., García-Garrido, E., Fernández-Jiménez, L.A., et al. "Promotion of new wind farms based on a decision support system". *Renew Energy* 33: 558–566. 2008.

- REN21 (Renewable Energy Network for the 21st Century). "Renewable 2012 global status report". Paris/Washington (DC): REN21/Worldwatch Institute. 2012.
- Rodríguez M. "La ordenación y la planificación de las fuentes renovables de energía en la isla de Cuba desde una perspectiva territorial. Estudio de caso en el municipio de Guama a partir de un geoportal". Tesis Doctoral. Universidad Pablo de Olavide de Sevilla. 2012.
- Sandoval Casilimas C. "Metodología cualitativa". Specialization program in theories, methods and techniques of social research. Module 4. ([http:// sapiens.ya.com/metcualum/sandoval.pdf](http://sapiens.ya.com/metcualum/sandoval.pdf)); 1996.
- Schlierf , Katharina. "La enseñanza Ciencia, Tecnología y Sociedad (CTS) en el entorno universitario politécnico: La metodología de la descripción de controversias en la Escuela de Minas de París." Revista iberoamericana de ciencia tecnología y sociedad. Sección: 5.15,73-93. 2010.
- Schlierf, K., Boni, A., & Lozano, J. F. "La transferencia de tecnología participativa desde la universidad: hacia un cambio tecnológico. Aprendizaje servicio y responsabilidad social de las universidades", 193.
- Schneider, D. R., Duic, N., et al. "Mapping the potential for decentralized energy generation based on renewable energy sources in the Republic of Croatia". Energy 32(9): 1731-1744.2007.
- Short, W., Blair, N., et al. "ReEDS Model Documentation: Base Case Data and Model Description". U. S. D. o. E. National Renewable Energy Laboratory.Golden, CO. 2009.
- Sig.se.gob.ar."Mapas". Available at: <https://sig.se.gob.ar/geoportal> . (Accedido el 28/11/2018).2018.
- SIGAM. "SIGAM | Sistema de Información Geológica Ambiental Minera".<http://sigam.segemar.gov.ar/> (Accedido el 28/11/2018).2018.
- Soncini-Sessa, R., Castelletti, A., Weber, E. "A DSS for planning and managing water reservoir systems".Environ Modelling y Software 18 (5): 395-404. 2003.
- Stallman, R. "Software libre para una sociedad libre, Madrid, Traficantes de Sueños." 2004.
- Thomas H, Fressoli M, Tecnología Santos G. Desarrollo y Democracia. "Nueve estudios sobre dinámicas socio-técnicas de exclusión/inclusión social". Argentina: Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva de la Nación. 2012.
- Tiba, C., Candeias, A.L.B., Fraidenraich, N., et al. "A GIS-based decision support tool for renewable energy management and planning in semi-arid rural environments of northeast of Brazil". Renew Energy 35: 2921-2932. 2010.
- Tomlinson, R. F. "Geographical Data Handling". Ottawa, UNESCO y Comisión de Teledetección de la UGI. 1972.
- Van Beeck N."A New Decision Support Method for Local EnergyPlanning in Developing Countries". CentER Tilburg University. Wang J., Jing Y., Zhang C. y Zhao J.(2009). Review on multi-criteria decision analysis aid in sustainable energy decisionmaking. Renewable and Sustainable Energy Reviews 13 2263–2278. .2003.

- Vargas Bustillos. "Técnicas participativas para la educación popular". 3th ed. Alforja: Centro de Investigación y Desarrollo de la Educación Tomo I. 1984.
- Verdugo Serna, C. "El Mito de la Neutralidad de la Ciencia". Madrid Diálogo Iberoamericano. 1997.
- Voivontas, D., Assimacopoulos, D., Mourelatos, A. y Corominas, J. " Evaluation of renewable energy potential using GIS decision support system". *Renew Energy*13 (3): 333- 344. 1998.
- Wenkel, K.O., Berg, M., Mirschel, W. "LandCaRe DSS – An interactive DSS for climate change impact assessment and the analysis of potential agricultural land use adaptation strategies". *JEnvirManag* 2013.
- Xiaohua, W. y Zhenmin, F. 2002. Sustainable development of rural energy and its appraising system in China. *Renew Sustain Energy Rev* 6(4): 395-404.

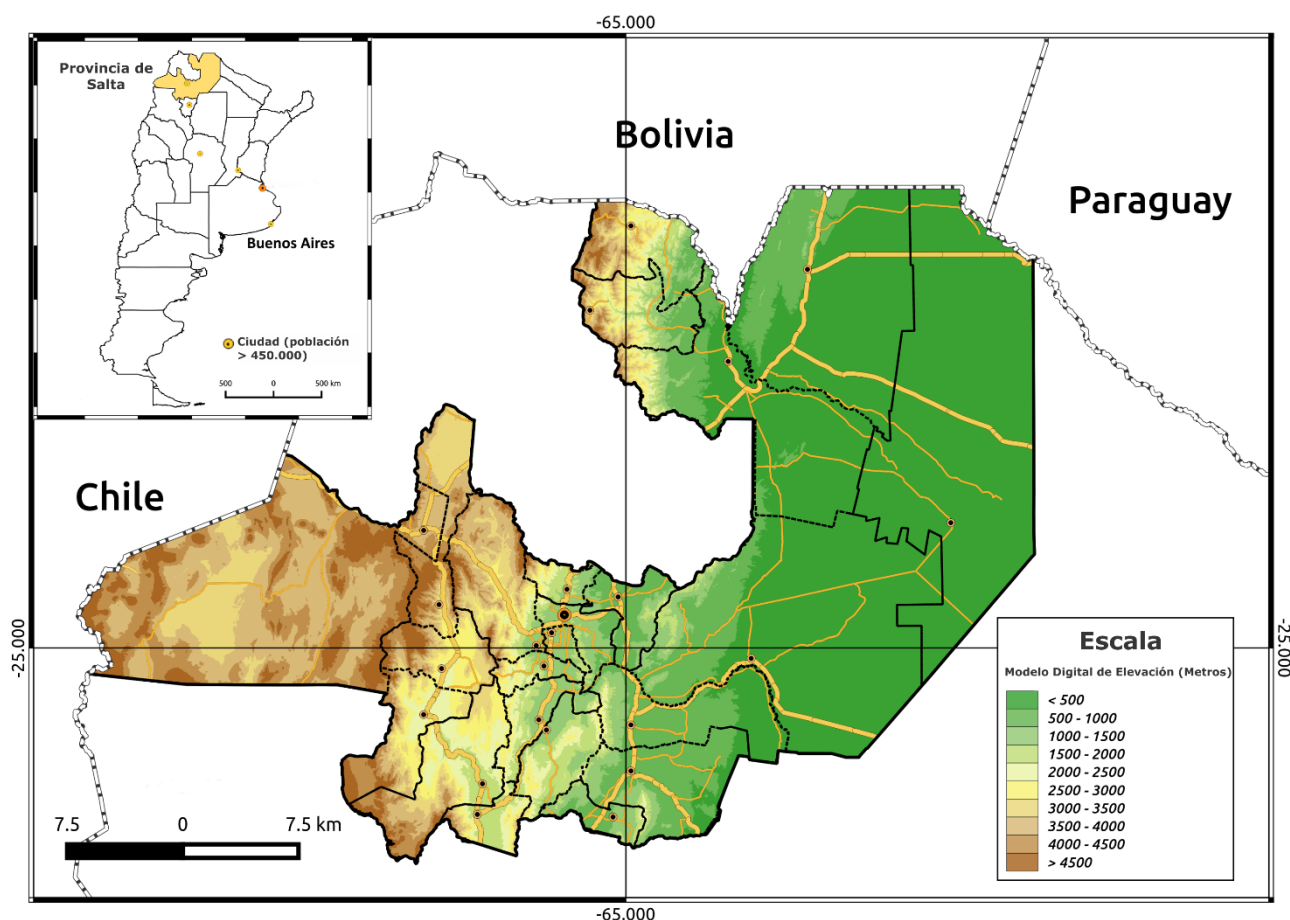
3. ÁREA DE ESTUDIO Y PROCESO METODOLÓGICO

3.1 Área de estudio

El área geográfica de este estudio es la provincia de Salta, ubicada en el noroeste de Argentina. Sus coordenadas de caja delimitadora son (en WGS84): Este: 62.360128 O, Oeste: 68.569034 O, Norte: 21.993606 S, Sur: 26.382889 S. Salta comparte fronteras terrestres con Bolivia al Norte y la provincia de Jujuy; con Paraguay y provincias de Formosa y Chaco al Este; con las provincias de Catamarca, Tucumán y Santiago del Estero al Sur, y con Chile y Jujuy al Oeste. La superficie total de la provincia es de 155.488 km², con una población de 1.214.441 habitantes alcanzando una densidad demográfica de 7.8 habitantes por km² (INDEC, 2012).

Salta se caracteriza por una diversidad de paisajes debido a su gran tamaño y la distribución de su territorio. La topografía de Salta es gradualmente decreciente en altitud generalmente de Oeste a Este como se ve en la Figura 3.1. Para la construcción de esta imagen se utilizaron datos del programa de Infraestructura de Datos Espaciales de Salta (IDESA, 2017).

Figura 3.1 Modelo digital de elevación de la provincia de Salta



Entre las unidades ambientales que integran la provincia (Cabrera, 1971; Cabrera, 1994; Bianchi et al., 2010), se puede identificar al Oeste la Cordillera de los Andes, zona de alta montaña con picos que superan

los 6500 m de altitud (Llullaillaco con 6.739 m.s.n.m.). Allí el clima es muy riguroso y se caracteriza por bajas temperaturas y fuertes vientos. Hacia el Este le sigue La Puna, que es una extensa meseta de altura promediando los 3500 m s.n.m., rodeada por cordones montañosos. El clima es muy seco y presenta una gran amplitud térmica, con elevadas temperaturas durante el día y heladas en la noche. Las lluvias son escasas, y la poca agua de las precipitaciones se evapora rápidamente, dejando en la superficie del suelo gran cantidad de sales. Dos tercios de esta región está cubierta por salares, los más importantes por su extensión son Arizaro y Pocitos.

Luego se ubica la Cordillera Oriental o Precordillera. Esta unidad topográfica está conformada, de Sur a Norte, por: Las Sierras de Cachi, con los picos más elevados que rondan los 6000 m s.n.m. (Nevado de Cachi 6000 m s.n.m.); Sierras de Chañi; Sierras de Lesser; Sierras del Cajón y Sierras de Carahuasi. El clima es frío, seco y con fuertes vientos, pero menos riguroso que la cordillera. Debido a las condiciones climáticas extremas en los climas andinos el desarrollo de la vegetación está muy limitado. Las bajas temperaturas y las precipitaciones escasas propician el desarrollo de una estepa arbustiva baja, con cobertura discontinua del suelo.

Al Este continúa una sucesión de cordones bajos, que comprenden las Sierras Subandinas, con orientación de Norte a Sur a lo largo del eje central de la provincia. Los niveles de altura van desde los 2.500 m s.n.m., en el Oeste, hasta los 500 m s.n.m. al Este. Limita al Oeste con las regiones andinas y, al Este, con la llanura chaqueña. El paisaje de las sierras subandinas presenta numerosos valles y quebradas (Valle de Lerma), además de los cordones serranos. De estos últimos, los principales son Mesada y Alto Río Seco, en el Norte; Maíz Gordo, en el centro; Metán y La Candelaria, en el Sur.

En la franja central y Sur de la provincia, entre los Cordones Cordilleranos y las Sierras Subandinas, se encuentran Bolsones y Quebradas. Se trata de valles recortados conocidos como Valles Calchaquíes. Los ríos más importantes son el Calchaquí y de Las Conchas. El clima de esta, es más cálido con una temperatura promedio anual de 15 °C (aunque con una gran amplitud térmica) y con precipitaciones estivales que rondan los 150 - 250 mm anuales. Bajo estas condiciones predomina paisaje de estepa arbustiva xerófila (plantas adaptadas a la sequía). A orillas de los cursos de agua se encuentran algunas especies arbóreas.

Finalmente, a lo largo de todo el sector oriental de la provincia de Salta se extiende la llanura chaqueña, zonas llanas que forman parte de la gran llanura chaco-pampeana de la Argentina, con altitudes que varían entre 500 y 0 m s.n.m. El terreno presenta una leve inclinación hacia el Sudeste, lo que determina que los ríos que nacen en las montañas y sierras subandinas sigan la dirección del declive. Los dos colectores principales de la región son los ríos Bermejo, al Norte, y Juramento, al Sur. Las condiciones de elevadas temperaturas y clima semiárido con precipitaciones concentradas en el verano (500 mm total anual) permiten el desarrollo de un bosque con árboles de gran porte, acompañado de especies arbustivas xerófilas.

3.2 Marco metodológico

Investigación-Acción Participativa (IAP)

Si bien originalmente el término de investigación-acción participativa (IAP) fue acuñado por el psicólogo social Kurt Lewin en el 1944, se ha ido complejizando y nutriendo a partir de la mirada de autores tales como: Lawrence Stenhouse (1975), Stephen Kemmis (1992), Gary Anderson (2007), Lourdes Merino (2009), Enrique Raya (2010) y Paulo Freire (1974-2017). Tal es así, que al día de hoy IAP constituye un enfoque investigativo y una metodología de investigación, aplicada a estudios sobre realidades humanas. Como enfoque refiere a la orientación teórica en torno a qué investigar y cómo hacerlo. Asimismo, como metodología presenta los procedimientos específicos para llevar a cabo el proceso de investigación.

La IAP se distingue del estudio científico tradicional al no entender al sujeto-objeto de estudio como entidades separadas, sino por el contrario aceptar esta relación como íntimamente ligada e incluso fomentar el involucramiento del investigador con su objeto de estudio. De aquí, surgen las palabras que tornan su nombre. Particularmente, *investigación*: hace referencia al estudio de la realidad o ciertos aspectos de la realidad, con rigurosidad científica; *acción*: determina que en dicha investigación hay acciones que buscan transformar la sociedad y que surgen como proceso simbiótico entre teoría y práctica (no es necesario esperar al final de la investigación para incidir en la realidad); mientras que la palabra *participativa* refiere a que el grupo de investigación está conformado no solo por los expertos si no por la comunidad involucrada (Pestaña, 2009).

Según Balcazár (2003), las fases generales que se siguen en la IAP son:

- a) La observación participante, en la que el investigador se involucra en la realidad que se estudiará, relacionándose con sus actores y participando en sus procesos.
- b) La investigación participativa, en la que se diseña la investigación y se eligen sus métodos, basados en el trabajo colectivo, la utilización de elementos de la cultura popular y la recuperación histórica.
- c) La acción participativa que implica, intercambio de información y la realización de acciones para transformar la realidad.
- d) La evaluación, estimando la efectividad de la acción en cuanto a los cambios logrados.

Durante el inicio del proceso de investigación se adoptó a la IAP como enfoque metodológico, tal es así que las etapas teóricas descritas en el párrafo anterior, fueron llevadas a cabo en la investigación en su totalidad. Asimismo, la IAP no rechaza las herramientas empíricas tradicionales, sino que por el contrario las integra y complementa con otras técnicas y dinámicas originales de construcción conjunta de conocimiento, entre los actores sociales involucrados. Esta construcción es fruto de consensos a partir de espacios colaborativos propicios para el pensamiento crítico y prospectivo, así como la co-construcción de nuevos conocimientos y la transformación del ámbito local (Belmonte et al, 2015).

Finalmente, según Bishop (2016) el éxito o fracaso de los proyectos de IAP depende del grado de colaboración de los integrantes. A mayor compromiso y colaboración de todos los integrantes, mejores

resultados. A la inversa, cuando los únicos interesados en el proyecto son los investigadores es muy probable que los resultados no sean favorables. A modo de ejemplo, se presenta la Tabla 3.1 que resume los niveles de IAP con datos adecuados de Balcázar (2003).

Tabla 3.1 Niveles de IAP.

Nivel IAP	Grado de Control	Grado de Colaboración	Grado de Compromiso
Sin IAP	Sujetos de investigación sin control	Mínimo	Ninguno
Bajo	Capacidad de dar retroalimentación	Comité de consejeros	Mínimo
Medio	Responsabilidad por supervisión y asistencia a las reuniones del equipo	Consejeros, consultores, veedores con contrato	Varios compromisos y sentido de pertinencias en el proceso
Alto	Socios igualitarios o líderes con capacidad de contratar a los investigadores	Investigadores activos o líderes de la investigación	Compromiso total y sentido de propiedad del proceso de investigación

Enfoque flexible-emergente

Algunos autores (González Rey et al., 2007; Hernández Sampieri et al.; 2010) definen al enfoque flexible-emergente como contrapuesto al diseño tradicional o cuantitativo, bregando que este primero surge del paradigma naturalista y afirmando que: *“El diseño de un estudio naturalista por lo general no se establece completamente antes de que empiece el estudio sino que emerge al tiempo que se recogen los datos, se lleva a cabo el análisis preliminar y pasa a describirse de modo más completo el contexto”*. Sin embargo, para el abordaje y resolución de problemas reales no se reconoce un polo entre lo cualitativo o cuantitativo sino que hay una continua retroalimentación entre ambos y, a su vez, una diversidad dentro de cada uno.

Superar la visión tradicional de la ciencia requiere el desarrollo de nuevas herramientas metodológicas menos rígidas, que sean flexibles y abiertas a los emergentes no anticipados pero propios de la actividad investigadora. Es decir, que la toma de decisiones en el proceso de investigación depende de las condiciones, propósitos y hallazgos que van surgiendo. La validación de las conclusiones obtenidas se hace a través del diálogo, la interacción y la vivencia; los resultados se van concretando mediante consensos nacidos del ejercicio sostenido de los procesos de observación, reflexión, diálogo, construcción de sentido compartido y sistematización (Galeano, 2003).

Un enfoque flexible-emergente se caracteriza por su diseño circular y no lineal, con una revisión permanente sobre sus etapas y cuya planificación inicial es modificada más adelante. Las fases se estructuran en procesos abiertos, que no buscan protocolizar el proceso pues no pretenden ser reproducibles en todos sus extremos, sino que es un camino que constituye un proceso reflexivo y complejo donde se incluye al observador en lo observado (Pla, 1999).

Enfoque colaborativo

Los procesos colaborativos refieren al trabajo multisectorial conjunto y coordinado que une a investigadores y miembros de la comunidad y grupos de interés en torno a un estudio, con el propósito explícito de utilizar la investigación como un instrumento para resolver problemas a la vez que propiciar un cambio social positivo. Los procesos de colaboración permiten obtener información relevante y adecuada (a analizar para la toma de decisiones) al mismo tiempo que generan capacidades individuales y grupales para el trabajo articulado y democrático. Por lo tanto, se generan oportunidades para el análisis, la reflexión y las propuestas, no como excepcional, sino como una forma sistemática del hacer (Belmonte et al., 2015). De esta misma manera, los procesos de colaboración posibilitan modelos de gobernanza más horizontales entre actores políticos y sociales, al fomentar la construcción de acuerdos (Pabón Balderas, 2007).

Las herramientas colaborativas permiten maximizar los recursos al evitar superponer esfuerzos y generar sinergias para la resolución de problemas concretos a través del compromiso y trabajo de múltiples actores con distintas capacidades. Asimismo, el enfoque colaborativo es valorado como estratégico internacionalmente en artículos de ER (Zhu et al., 2011; Ramachandra, 2013; Manos et al., 2014; Belmonte et al., 2015).

Finalmente, este enfoque se nutre fuertemente de herramientas comunicacionales que permiten la actualización y gestión permanente de información, recurso clave a la hora de tomar decisiones en los distintos niveles operativos y políticos.

Enfoque territorial participativo (ETP)

El enfoque territorial participativo se refiere a un proceso de planificación aplicado a un territorio, de amplia interrelación y consenso entre actores institucionales (públicos y privados) y sociales, que se identifican con un espacio geográfico, donde viven y operan, por tradición cultural, política e histórica, para resolver problemas comunes y solucionarlos de acuerdo a intereses y prioridades compartidas (FAO, 2013; Díaz, 2017).

En este caso el territorio es entendido de manera heurística como el escenario socialmente construido donde ocurre todo lo social y simbólico; siendo a la vez natural, espacial, social, cultural, económico, político e histórico (Treminio, 2010). El territorio es por tanto producto de un complejo proceso de construcción que implica un dominio (económico-político) y una apropiación (simbólica-cultural) de formas-contenido asignadas por los sistemas sociales (Haesbaert, 2004). Dicho proceso está mediado funcionalmente por relaciones verticales y horizontales de acciones y objetos sociales, en variadas/determinadas escalas, jerarquías y tiempos (Arreola, 2017).

En este sentido, surge el concepto de ‘construcción de la viabilidad’ (Schejtman y Ramírez, 2004) que refiere a la posibilidad de que el capital social necesario para el diseño y la implementación de nuevas políticas y acciones, se genere localmente (OLADE/CEPAL/GTZ, 2000; Boege, 2007; Enet et al., 2008). El capital social puede ser definido como el conjunto de valores, actitudes, instituciones, que generan la cohesión social, la

solidaridad y la cooperación entre las personas a través de actuaciones y recursos colectivos, incluyendo relaciones de confianza y credibilidad, reciprocidad y sentido de pertenencia (Rodó et al, 2004; Schejtman y Ramírez, 2004; Guimaraes, 1998; Belmonte, 2015).

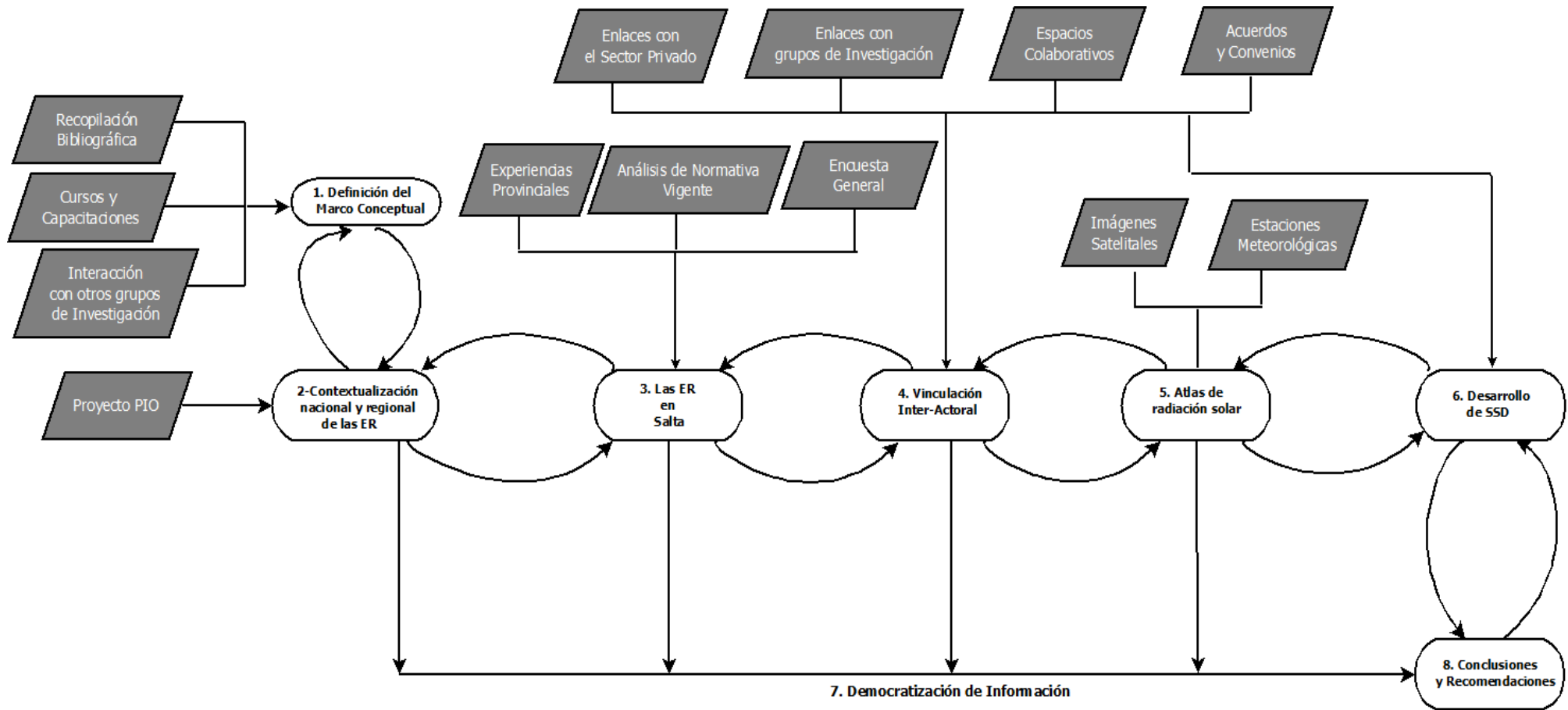
De esta manera, la ETP resulta eficaz en términos de desarrollo y mejoramiento del capital social en comunidades, especialmente vulnerables. Facilita la articulación de recursos e iniciativas, mejora la gobernabilidad y aumenta el nivel de autoestima de las poblaciones y de sus líderes. Sin embargo, para el ETP es necesaria: 1. La voluntad política de los gobiernos para el cambio de gestión; 2. Contar con marcos jurídicos y/o arreglos institucionales que garanticen la participación ciudadana; 3. La promoción de la participación interinstitucional y multisectorial; 4. Capacitación de los funcionarios públicos; 5. Voluntad de la sociedad civil en participar de los espacios de intervención en territorio; 6. Formación de los ciudadanos y las ciudadanas sobre la gestión del desarrollo territorial y participativo (FAO, 2013).

Finalmente, la ETP trabaja con herramientas y metodologías de planificación y gestión, comúnmente concertadas, que permitan articular las distintas iniciativas en el territorio como respuesta a los problemas locales. Asimismo, contribuyen a la construcción, ejecución y evaluación de políticas públicas.

3.3 Etapas del proceso metodológico

En este punto se presenta un diagrama simplificado de las etapas involucradas en el proceso metodológico de la tesis (Figura 3.2) y una breve descripción de cada una de ellas. Mayores detalles sobre los aspectos metodológicos específicos de cada ítem son presentados en los siguientes capítulos del documento.

Figura 3.2 Diagrama del proceso metodológico.



1- Definición del marco conceptual

A partir de la contribución bibliográfica, actividades de formación (cursos y capacitaciones) y la interacción con otros grupos que trabajan en el mismo tema o temáticas similares, se construyó un enfoque conceptual sistémico, centrado en la relación de ciencia-tecnología-sociedad y el uso de herramientas propias de metodologías ágiles de desarrollo de software, sistemas de información geográfica y software libre.

En este punto se definió el centro de la investigación y cómo se llevaría a cabo, en íntima relación con la construcción teórica. Asimismo, se profundizó en diversas herramientas metodológicas que permitieran abordar con coherencia y consonancia la temática y esta manera de investigar. Tal es así, que se tomaron cursos específicos desde la facilitación de talleres y gestión ágil de proyectos de software hasta cursos específicos de energías renovables.

2- Contextualización de la problemática de las ER a nivel regional y país.

En esta etapa se trabajó a partir de los resultados de un proyecto de investigación a escala país¹ con actividades tales como el relevamiento a campo de experiencias incorporando consultas a actores sociales y un fuerte trabajo grupal para la construcción de síntesis y propuestas. Esto permitió abarcar la complejidad de la problemática energética y alternativas de ER. Particularmente, se logró profundizar en las problemáticas que giran en torno a distintas fuentes de ER (solar, biomasa, eólica, geotérmica y micro-hidráulica) y caracterizar el estado de situación de cada fuente en la Argentina. En el proyecto de referencia, la selección de los casos se realizó en base a criterios de regionalización, representatividad y diversidad. El relevamiento territorial permitió la incorporación de numerosas herramientas metodológicas, así como la reconstrucción de historias que movilizaron el uso de las energías limpias. Estas revisiones y análisis, si bien en un primer momento se dieron a nivel de cada actor social encuestado, gracias a diferentes herramientas metodológicas lograron integrarse en aprendizajes de las experiencias para luego, en un nivel de abstracción mayor, llegar a acordarse recomendaciones y propuestas a nivel país y por fuente de energía.

A su vez, el estudio de la legislación vigente y sus repercusiones en el país colaboraron en la comprensión del aspecto político y la instrumentación legal utilizada para el fomento e incorporación de ER en Argentina. Por último, la participación de espacios de construcción colectiva (talleres participativos y reuniones de trabajo) propició la reflexión conjunta de distintos actores sobre el camino transitado con respecto a las ER y nuevas propuestas para mejorar las futuras experiencias. Estos resultados, así como las

¹ Proyecto de Investigación Orientado (CONICET - Fundación YPF): “Energías Renovables en Argentina: Visiones y perspectivas de los actores sociales. Hacia un análisis integral de los Sistemas Tecnológicos Sociales, desarrollo productivo y sustentabilidad socio-ambiental” (Belmonte et al., 2016).

oportunidades, limitantes y fortalezas detectados, representaron recursos claves en el desarrollo de esta investigación con el objeto de maximizar la eficiencia y la eficacia en el desarrollo de herramientas de soporte a la toma de decisiones en la provincia de Salta.

3- Contextualización de las ER en la provincia de Salta

Una vez comprendida la situación nacional, se focalizó sobre la provincia de Salta. Para ello, se desarrollaron tres actividades secuenciales:

- Armado de base de datos y relevamiento de experiencias en la provincia²: geolocalización de experiencias realizadas en Salta y empresas vinculadas a tecnologías de ER. Esta base de datos permitió realizar una caracterización geográfica en un primer nivel de la provincia considerando las fuentes renovables y su localización. Asimismo, la base de contactos sirvió y sirve actualmente como grupo de difusión para convocatorias a espacios de reflexión o divulgación de resultados. Esta fuente de datos fue complementada con la visión, perspectivas y experiencias de actores sociales involucrados en experiencias relevadas in-situ.
- Análisis de la normativa vigente en la provincia con respecto a ER: En este punto se analizó concretamente el Plan de Energías Renovables de la provincia, la Ley de Fomento a las ER y la Ley de Balance Neto.
- Encuesta general de ER a la población: En colaboración con el INTI, se realizó una encuesta orientada a la población en general, con el objeto de relevar el grado de conocimiento de las ER y de las leyes. Se obtuvo un número considerable de respuestas, lo que permitió extraer conclusiones sobre la percepción de actores ajenos a la temática.

En base a las actividades previas se enmarcó la problemática de las ER en Salta, obteniendo insumos para el desarrollo de las herramientas de planificación energética y a su vez como aprendizajes a tener en cuenta para la incorporación de las ER en Salta.

4- Vinculación interactoral

Numerosas actividades se realizaron de manera interactoral, tanto para fomentar el trabajo colaborativo como para obtener resultados específicos y difundirlos. Para facilitar la comprensión, las actividades de vinculación se categorizaron en cuatro ejes:

A. Enlaces con otros grupos de investigación nacionales e internacionales:

Se estableció contacto con otros institutos de investigación que trabajan tanto en el desarrollo conceptual como en el estudio de casos de planificación energética, con especial enfoque en ER. Los

² Esta actividad se realizó con el apoyo del proyecto de investigación plurianual - PIP CONICET N° 035 (2016-2019): "Sistema de soporte para la toma de decisiones en energías renovables (Salta - Argentina)".

enlaces fueron formalizados en los siguientes proyectos de investigación (gestionados y ejecutados en el período doctoral):

- Proyecto de intercambio con Alemania: Representó un espacio de interacción y aprendizaje mutuo a partir del intercambio de experiencias, viajes conjuntos para relevar proyectos de energías renovables y el análisis de situaciones locales.
- En el marco de este proyecto se realizó una pasantía de trabajo en el Instituto Alemán de Deggendorf, lo que permitió el aprendizaje de herramientas de geoprocésamiento de información a gran escala, así como el acceso a grandes cantidades de datos pertenecientes a servicios satelitales. Asimismo, durante la estadía en Alemania se participó de cursos específicos de fuentes renovables, los cuales permitieron acercarse a los objetivos, mecanismos y actores involucrados que son claves para el desarrollo e incorporación de ER en ese país. Proyecto de Investigación Orientado: A partir de este proyecto se logró profundizar la vinculación con diferentes grupos de investigación de distintos lugares del país: Instituto de Investigaciones y Políticas del Ambiente Construido (IIPAC) – Universidad Nacional de La Plata; Instituto de Estudios sobre la Ciencia y la Tecnología (IESCT) - Universidad Nacional de Quilmes; Instituto Nacional de Tecnología Industrial (INTI sede Salta), Laboratorio de Simulación de Potencia Eléctrica (LASPE) -Universidad Nacional de Tucumán. Esta vinculación resultó clave en pos de analizar y contextualizar la problemática de las ER en Argentina, como así también intercambiar, construir y adoptar herramientas cualitativas y cuantitativas pertinentes al proceso de investigación.

B. Espacios colaborativos inter-institucionales en el ámbito local:

Los talleres participativos fueron realizados para grupos de actores estratégicos vinculados a la gestión energética, entre ellos: técnicos, profesionales, agentes gubernamentales y público en general, involucrados en la planificación, el desarrollo y/o la aplicación de tecnologías de ER. Los encuentros se diseñaron teniendo en cuenta el perfil de los asistentes y el contenido a abarcar. Los encuentros colaborativos fueron los siguientes:

- Workshop 1: “Información de base para modelos energéticos con SIG”. En agosto de 2014, se realizó una reunión de trabajo interinstitucional en el ámbito local, con la finalidad de: a) Identificar variables relevantes para el análisis energético con Sistemas de Información Geográfica; b) Determinar condicionantes en el acceso a la información de base, c) Proponer estrategias viables para mejorar los procesos de recolección y sistematización de datos. La modalidad de trabajo fue un taller participativo, donde se articuló principalmente con instituciones del sector público vinculadas al tema energético y manejo de información (ministerios y secretarías de gobierno, institutos nacionales de tecnología –industrial y agropecuaria-, ente regulador, dirección de estadística y universidades).

- Workshop 2: “Aportes al fomento de las energías renovables en Salta: Acciones, proyectos y propuestas”. El taller tuvo lugar en setiembre de 2015 en la ciudad de Salta. Se plantearon como objetivos del encuentro: a) Reflexionar sobre la implementación de acciones de fomento a las energías renovables en la provincia y en la experiencia de Alemania, y b) Aportar recomendaciones para promover las energías renovables en el contexto local.

C. *Acuerdos y convenios con el sector gubernamental:*

A partir de la identificación de intereses comunes entre el Grupo de Planificación Energética y Gestión Territorial del INENCO (CONICET-UNSA) y la Secretaría de Energía del Ministerio de Producción, Trabajo y Desarrollo Sustentable de la provincia de Salta, ambas instituciones ligadas a las ER en la región, se llegaron a establecer alianzas de trabajo sostenibles con el objeto de mejorar y optimizar las condiciones energéticas actuales en términos de planificación, ejecución y gestión de proyectos. El diálogo y trabajo informal inicial fue oficializado en diversos convenios de investigación y desarrollo de herramientas de soporte a las decisiones tanto para el ámbito gubernamental como público en general.

- Convenio de Investigación y Desarrollo RES 3157/16: El objeto del presente convenio fue la realización de un sistema de soporte para la toma de decisiones en energías renovables que incluye las siguientes etapas: Elaboración de SIG energético de la provincia de Salta; Desarrollo participativo de los modelos de toma de decisión y Difusión del Sistema de Soporte en diversos ámbitos.
- Convenio de Asistencia Técnica: El objeto de este convenio fue el asesoramiento técnico para la realización de una aplicación web para la consulta de la radiación solar, estimación de la producción de energía fotovoltaica y el uso de calefones solares en el marco de la aplicación de las leyes de fomento a las Energías Renovables y de Balance Neto.

D. *Enlace con el sector privado:*

Se establecieron vínculos con el sector productivo, con el objeto de prestar asistencia y asesoramiento para la mejora en la organización y los procesos de fabricación e instalación de tecnología solar. Dicha interacción, se formalizó en un proyecto de investigación, financiado por la Secretaría de Cooperación Técnica y Relaciones Internacionales de la Universidad Nacional de Salta. Entre los objetivos planificados, se trabajó particularmente para el desarrollo de un software de gestión contable con actualización de stock, específico para las tecnologías renovables que fabrica la empresa. A partir de este trabajo se pudo comprender las necesidades específicas de los privados, así como sus limitaciones y oportunidades.

Estos cuatro ejes de vinculación, reflejan las categorías de decisores involucrados con las ER a nivel provincial y regional. Asimismo, se realizaron vinculaciones de manera informal (comunicación oral, reuniones

informales, etc.) las cuales, junto con los espacios de reflexión y colaboración, establecieron el punto de partida en la investigación y a su vez, funcionaron como instancia de retroalimentación de los avances de toda la tesis doctoral cuyo objetivo último es aportar en el proceso de planificación energética de la provincia.

5- Desarrollo de atlas de radiación solar de Salta

A partir de la vinculación interactoral, se identificó información de base clave necesaria para avanzar en una planificación estratégica energética (Informe Workshop, 2015). Si bien se reconoce a Salta como una promesa para el desarrollo de la energía solar, al ubicarse dentro de la zona 7 con la radiación solar más alta del mundo (hasta 2000 kWh/m² anualmente), se carece de estudios espaciales y temporales más detallados que permitan optimizar la evaluación de los proyectos solares. Un atlas de radiación solar con distintas escalas temporales y con suficiente definición espacial es considerado como información clave para el pre-diseño de proyectos energéticos en lugares determinados de la provincia. Las experiencias de instalaciones solares, utilizan datos de mediciones en tierra tomados en lugares diferentes de la zona de instalación, datos promedios producto de interpolaciones o bien, datos satelitales no siempre pertenecientes al lugar en cuestión.

Por esta razón, se planteó como prioridad para el avance real y efectivo de incorporación de ER en la provincia, el desarrollo de un atlas con valores de radiación solar para día característico, acumulada mensual y acumulada anual. Estos mapas se basan principalmente en datos satelitales para un período de siete años que fueron validados con estimaciones generadas por métodos empíricos -comúnmente utilizados en el área- y con datos disponibles in situ de cinco estaciones terrestres regionales. A fin de satisfacer las marcadas variaciones geográficas de la provincia (altitudes variables entre 400 y 6500 m.s.n.m.), se trabajó con imágenes satelitales con una resolución espacial de 4.8 km de lado. La metodología utilizada para el desarrollo del atlas resulta novedosa en el contexto argentino donde los mapas de radiación solar disponibles se basan en métodos de interpolación de mediciones de estaciones terrestres o datos basados en imágenes satelitales con escasa o ninguna validación (mayores detalles de la metodología se presentan en el capítulo 7).

Finalmente, se propusieron varias estrategias de difusión para llegar a los diferentes grupos de interesados: publicaciones nacionales e internacionales, seminarios científico-académicos, sitio web, reunión con el gobierno y registros de los resultados en formatos virtuales. Asimismo, para garantizar su accesibilidad se difundió el atlas en diferentes formatos tales como: proyecto GIS, archivo Keyhole Markup Zip (kmz) y mapas en formato geotiff.

6- Desarrollo de SSD: Sistema de Información Solar de Salta - SISol

Una vez disponible y difundido el mapeo del recurso solar en la provincia y mediante una vinculación formalizada en convenios con la Secretaría de Energía se logró avanzar en la concreción de un SSD para decisores del sector político, público y privado. Las funcionalidades del SSD fueron definidas teniendo en cuenta las reflexiones y resultados de las etapas 1, 2 y 3 del proceso metodológico, considerando las

necesidades de los distintos grupos de actores relacionados con las ER. El trabajo se orientó principalmente al fomento de las tecnologías solares, al ser identificadas como prioritarias por la propia comunidad interesada. Tal es así, que el nombre de difusión que toma el SSD es Sistema de Información Solar Salta (SISol).

El SSD desarrollado constituye una aplicación web que incluye cuatro módulos principales de consulta y cálculo montados sobre una plataforma georreferenciada con base en Google Earth. Entre las funcionalidades principales se distinguen: posibilidad de consultar sobre valores de radiación solar diaria, mensual y anual en cualquier punto de la provincia, consulta de valores de temperatura ambiente media mensual y anual, evaluaciones técnico-financieras de una posible instalación fotovoltaica y cálculo de ahorro por una instalación de calefón solar.

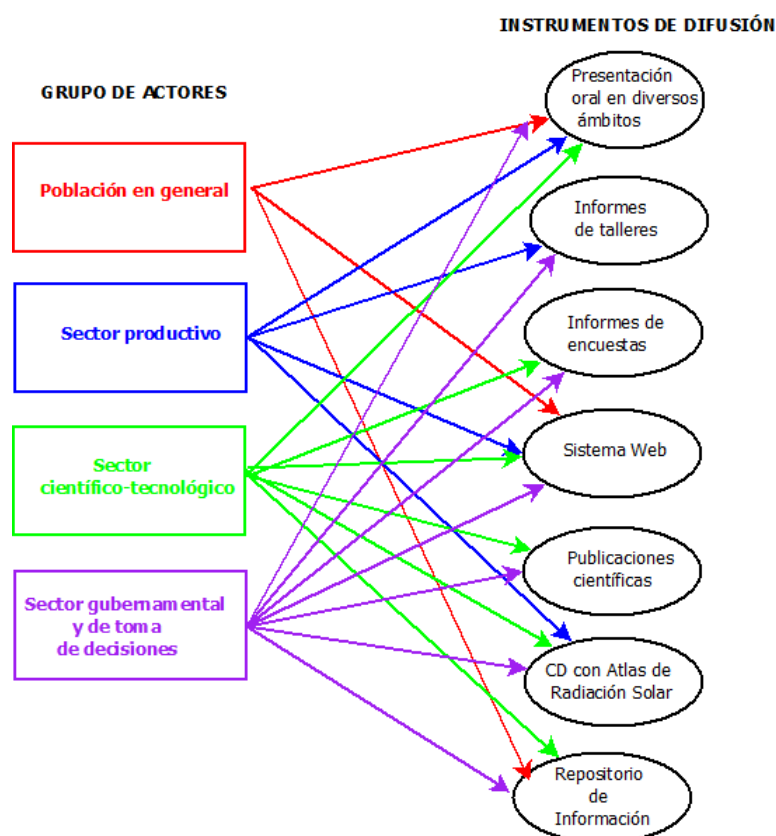
SISol surgió como fruto del trabajo colaborativo realizado entre el grupo de investigación y la Secretaría de Energía de la provincia de Salta. A su vez, es propicio mencionar que para el desarrollo de SISol se siguió una metodología de desarrollo de software ágil que se adecuó satisfactoriamente para el alcance del trabajo y los actores involucrados. En este sentido, se realizaron reuniones quincenales en las etapas iniciales del proceso y reuniones semanales cuando la herramienta alcanzó un grado avanzado de desarrollo. En dichas reuniones, se revisaba el avance de la aplicación, se consensuaba la forma de mostrar los resultados, el contenido textual del sitio y el diseño visual del mismo. Asimismo, se establecían las prioridades de desarrollo en las etapas futuras y la construcción de la documentación a sistematizar e incluir en la herramienta web.

Una vez completo el sistema, se plantearon distintas estrategias de difusión de acuerdo al público objetivo, entre las cuales se destacan: presentación formal en Centro Cívico de la Provincia, entrevista televisiva, nota radial, noticia web en varios portales, difusión por listas de correo institucionales, seminarios, entre otros.

7- Democratización de información

Como actividad transversal durante todo el proceso investigativo se adecuaron los resultados tanto intermedios como finales a diversos formatos y se utilizaron diversas estrategias para garantizar la llegada a diversos actores involucrados en la temática a fin de democratizar el acceso a la información. La Figura 3.1 muestra las herramientas de difusión orientadas a cada grupo de actores relevantes.

Figura 3.1 Grupo de actores e instrumentos de difusión.



8- *Elaboración de conclusiones y recomendaciones*

En esta última etapa, se realizó una evaluación del trabajo realizado en todo el proceso de investigación a nivel personal, con la directora y co-directora de tesis principalmente y con los tomadores de decisión a nivel político. Producto de esto, surgen recomendaciones para la mejora en la planificación y gestión de ER en la provincia, así como la priorización de actividades a realizar para el fomento e incorporación de ER en Salta. Asimismo, se revisaron los objetivos inicialmente propuestos y se detallaron en qué medida y cómo fueron alcanzados con el desarrollo de la tesis doctoral.

Por último, se trazaron líneas de trabajo a seguir en el ámbito personal, con el grupo de investigación, en el trabajo coordinado con la Secretaría de Energía y otras instituciones relacionadas. Estas líneas de trabajo especialmente se orientan a cubrir los vacíos identificados en los procesos de planificación energética y gestión del territorio de la provincia.

3.4 Referencias del capítulo

Arreola Muñoz, A. V., y Saldívar Moreno, A. "De Reclus a Harvey, la resignificación del territorio en la construcción de la sustentabilidad". *Región y sociedad*, 29(68), 223-257. 2017.

- Manos, B.; Partalidou, M.; Fantozzi, F.; Arampatzis, S.; Papadopoulou, O. "Agro-energy districts contributing to environmental and social sustainability in rural areas: evaluation of a local public-private partnership scheme in Greece". *Renew Sustain Energy Rev.*29:85-95.2014.
- Idesa.gob.ar. "Idesa – Infraestructura de datos espaciales de Salta". <http://www.idesa.gob.ar/>. 2018.
- Instituto Nacional de Estadística y Censos de la República Argentina (INDEC). "Censo 2010". 2012.
- Bishop, C. "Infiernos artificiales. Arte participativo y políticas de la espectaduría". Ciudad de México: t-e-eoría. 2016.
- Díaz, M. F. "Tecnologías de Información Geográfica en el diagnóstico territorial participativo con comunidades indígenas. Caso de estudio en territorios Mapuche Lafkenches de Tirúa (38° 20'S y 73° 30'W)". Chile. 2017.
- Raya Lozano, E. "Políticas antidiscriminatorias y políticas de integración de inmigrantes". Ponencia presentada en el II Congreso de la Red Española de Política Social. "Crisis económica y políticas sociales". CSIC, Madrid.
http://cg2010.espanetSpain.net/gest/sites/default/files/panel8/2/Ponencia/5/ponencia_de_enrique_raya_pdf_15405.pdf].2010.
- Ander-Egg, E. "Repensando la investigación acción participativa. Google books".
(https://books.google.com.mx/books/about/Repensando_la_investigaci%C3%B3n_acci%C3%B3n_participativa.html?id=ucreAQAAIAAJ&source=kp_cover&redir_esc=y&hl=es). 2003.
- Balcázar, F. E. "Investigación acción participativa (IAP): Aspectos conceptuales y dificultades de implementación". <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=1272956> (accedido el 28/11/2018). 2003.
- Oviedo, L. B., & Silva, M. C. "La investigación acción y el aprendizaje por proyectos en el marco del modelo pedagógico enseñanza para la comprensión. Experiencia del modelo visión mundial en comunidades vulnerables de montería". *PANORAMA*, 11(21). 2018.
- Pestaña, A.; Moreno, S. y M. A. Alcázar. "Investigación-acción participativa." Román Reyes, *Diccionario crítico deficiencias sociales*, Plaza y Valdés/Universidad Complutense de Madrid, Madrid.2009.
- Kemmis, S. y McTaggart, R. "Cómo planificar la investigación: Acción". Editorial Laertes.1992.
- Anderson, G. y Herr, K. "El docente investigador: la investigación-acción como una forma válida de generación de conocimientos". SVERDLICK, I.(Comp.). *La investigación educativa: una herramienta de conocimiento y acción*. Buenos Aires: Noveduc, 47-70. 2007.
- Cabrera, A.L. "Regiones fitogeográficas argentina". En: Kugler WF (Ed.) *Enciclopedia argentina de agricultura y jardinería*. Tomo 2. "Edición Acme. Buenos Aires. Argentina. Fascículo 1, 85 p. 1994.
- Freire, P. y de Lora, C. "Concientización: teoría y práctica de la liberación". Colombia: Asociación de Publicaciones Educativas. 1974.

- Freire, P.; Gadotti, M.; Guimarães, S., y Hernandez, I. "Pedagogía: diálogo y conflicto". 2017.
- Muñoz, A; Arturo, V. y Saldívar Moreno, A. "De Reclus a Harvey, la resignificación del territorio en la construcción de la sustentabilidad." *Región y sociedad* 29.68: 223-257. 2017.
- Balcázar, F. E. "Investigación acción participativa (iap): Aspectos conceptuales y dificultades de implementación". <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=1272956> (accedido el 28/11/2018). 2003.
- Belmonte, S; Núñez, V y Viramonte J. "Talleres multidisciplinares y multisectoriales – Ordenación Territorial del Valle de Lerma". Argentina: XX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo Salta-Jujuy; 2006.
- Belmonte S. "Evaluación multicriterio para el uso alternativo de energías renovables en la Ordenación Territorial del Valle de Lerma" [Ph.D. tesis]. Doctorado en Ciencias – Área Energías Renovables – Facultad de Ciencias Exactas – Universidad Nacional de Salta. 2009.
- Belmonte S. "Herramientas y Estrategias para la Gestión Territorial. Propuestas basadas en una Experiencia Local: Valle de Lerma" – Salta. V Jornadas Latinoamericanas sobre Medio Ambiente 2009.
- In Soria, M.; Colombi, E.; Speroni, F. y Xamena C. "Ordenamiento Ambiental del Territorio – Participación Ciudadana". Publishing house: Universidad Católica de Salta, EUCASA. Salta, Argentina. p. 39-76.2011.
- Belmonte, S.; Escalante, K. y Franco, J." Shaping changes through participatory processes: Local development and renewable energy in rural habitats". *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 45, p. 278-289. 2015.
- Bianchi, A.; Cravero, S. "Atlas climático digital de la República Argentina." Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria: Salta, Argentina.2010.
- Boege, E. "Protegiendo lo nuestro. Manual para la gestión ambiental comunitaria, uso y conservación de la biodiversidad de los campesinos indígenas de América Latina". PNUMA. Red de Formación Ambiental para América Latina y el Caribe. Serie Manuales de Edición y Capacitación Ambiental 3. Primera edición en Internet. 191 p. 2007.
- Buchholz, T.S.; Volk, T.A. y Luzadis, V.A. "A participatory systems approach to modeling social, economic, and ecological components of bioenergy". *Energy Polic.* 35:6084–94. 2007.
- Cabrera, A.L. " Fitogeografía de la República Argentina. Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica". vol. 14, paginas 1–42. 1971.
- Reynaldo Treminio, C. "Soberanía y Seguridad Alimentaria y Nutricional en Territorios Sociales Gestión territorial con participación ciudadana. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura – FAO". Santiago, Chile. Pág. 42. 2010.
- Enet, M.; Romero Fernández, G. y Olivera Gómez, R. "Herramientas para pensar y crear un colectivo en programas intersectoriales de hábitat". 1st ed. Ciencia y Tecnología para el Desarrollo – CYTED – HABYTED – RED XIV. f. Buenos Aires. 2008.

- FAO. "Proyecto Regional FAO Ordenamiento Territorio Rural Sostenible". Estado de Situación del Territorio Nacional, de las Políticas de Desarrollo y Ordenamiento Territorial y de las iniciativas de Ordenamiento Territorial Rural. Argentina. Report presented by Argentina in the 1st workshop México, www.rlc.fao.org/proyecto/139jpn/ordenam.htm (accedido el 28/11/2018) .
- Galeano, M. E. "Diseño de proyectos en la investigación cualitativa". Universidad Eafit. 2003.
- González Rey, F. "Subjetividad e investigación cualitativa: los procesos construcción de la información". México- DF: McGraw- Hill. 2007.
- Guimaraes, R. P. "Aterrizando una cometa: Indicadores territoriales de sustentabilidad". CEPAL. Chile. 1998
- Guzmán, G.; Alonso, A.; Pouliquen y Sevilla, E. "Las metodologías participativas de investigación: el aporte al desarrollo local endógeno". Instituto de Sociología y Estudios Campesinos.ETSIAM. Córdoba. 1994.
- Guzmán, G. "Las metodologías participativas de investigación: un aporte al desarrollo local endógeno." Ponencia presentada al Congreso de Agroecología y Desarrollo Rural, Pamplona. 1996.
- Haesbaert, R. "O mito da desterritorializacao: do "fim dos territorios" a multiterritorialidade". Río de Janeiro: Bertrand Brasil. 2004.
- Haralambopoulos D. y Polatidis H. "Renewable energy projects: structuring a multicriteria group decision-making framework". *Renew Energy*;28: 961–73. 2003.
- Hernández Sampieri, R.C; Fernández Collado, M.P. y Baptista, L. "Metodología de la investigación". 5.ta ed. New York: McGraw-Hill. 2010.
- Instituto Geográfico Nacional. Sistema de Información Geográfica desarrollado por el Instituto Geográfico Nacional a escala 1:250.000 y que abarca todo el territorio nacional. www.ign.gob.ar/sig.IGN (accedido el 28/11/2018).
- Instituto Nacional de Estadística y Censos. "Censo Nacional de Población, Hogares y Viviendas 2010". Censo del Bicentenario. Resultados definitivos, Serie B Nº 2, capítulo 1. ISBN 978-950-896-421-2. 2012.
- Markus, M.; Lynne, A.; Majchrzak, M. y Les Gasser, K. "A Design Theory for Systems That Support Emergent Knowledge Processes." *MIS Quarterly* 26, no. 3: 179-212. <http://www.jstor.org/stable/4132330> (accedido el 28/11/2018). 2002.
- OLADE/CEPAL/GTZ. "Energía y Desarrollo Sustentable en América Latina y el Caribe: Guía para la formulación de políticas energéticas". Proyecto Energía y Desarrollo Sustentable en América Latina y el Caribe. Quito. Ecuador. 2000.
- Pabón Balderas, E. "Sistema de Análisis Social. Enfoques y Herramientas Participativas para Procesos de Desarrollo (Compilación de experiencias de aplicación)". CEBEM editors. Bolivia. <http://www.sas2.net> and <http://sas.cebem.org> 152. 2007 .
- Ramachandra, T.V.; Shruthi, V.B."Spatial mapping of renewable energy potential". *Renew Sustain Energy Rev* 11: 1460–1480. 2007.

- Rijal, K. "Renewable energy policy options for mountain communities: experiences from China, India, Nepal and Pakistan". *Renew Energy* 16:1138–42. 1999.
- Rodó, J.; Queralt, A. y Torres, P. "La dimensión identitaria de la sustentabilidad". *Revista Instituciones y Desarrollo* Nº16: 335-352. 2004.
- Schejtman, A. y Ramirez, E. "Desarrollo territorial rural. Aspectos destacados de experiencias en proceso en América Latina". Fondo Mink'a de Chorlaví. Primera Edición. 2004.
- Sudhakar Reddy, A. y Painuly J.P. "Diffusion of renewable energy technologies-barriers and stakeholders' perspectives". *Renew Energy*; 29:1431–47. 2004.
- Tsoutsos T.D. y Stamboulis Y.A." The sustainable diffusion of renewable energy technologies as an example of an innovation-focused policy". *Technovation*. 25:753–61. 2005.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. "Un enfoque para el desarrollo rural: Desarrollo Territorial Participativo y Negociado (DTPN)". Dirección de Desarrollo Rural. 2005.
- Xiaohua, W. y Zhenmin, F. "Sustainable development of rural energy and its appraising system in China". *Renew Sustain Energy Rev* 6(4): 395-404. 2002.
- Zhu B.; Zhang W.; Du J.; Zhou W.; Qiu T. y Li Q. "Adoption of renewable energy technologies (RETs): a survey on rural construction in China *Technology in Society* 33 (3): 223-230. DOI:10.1016/j.techsoc.2011.09.002. 2011.

4. CONTEXTO REGIONAL DE LAS ENERGÍAS RENOVABLES

4.1 Metodología de trabajo³

La metodología utilizada en el presente capítulo corresponde al proyecto de investigación orientado: “Energías Renovables en Argentina: Visiones y perspectivas de los actores sociales. Hacia un análisis integral de los Sistemas Tecnológicos Sociales, desarrollo productivo y sustentabilidad socio-ambiental”. Este proyecto surgió como una respuesta a la necesidad de comprender integralmente el escenario actual de las Energías Renovables (ER) en Argentina y plantear propuestas para mejorar su inserción en el país. El mismo fue desarrollado por un equipo multidisciplinario de diversas entidades científicas del país (Salta, Quilmes, La Plata, Tucumán) entre los años 2014-2017 y fue financiado por el Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET) y la Fundación YPF.

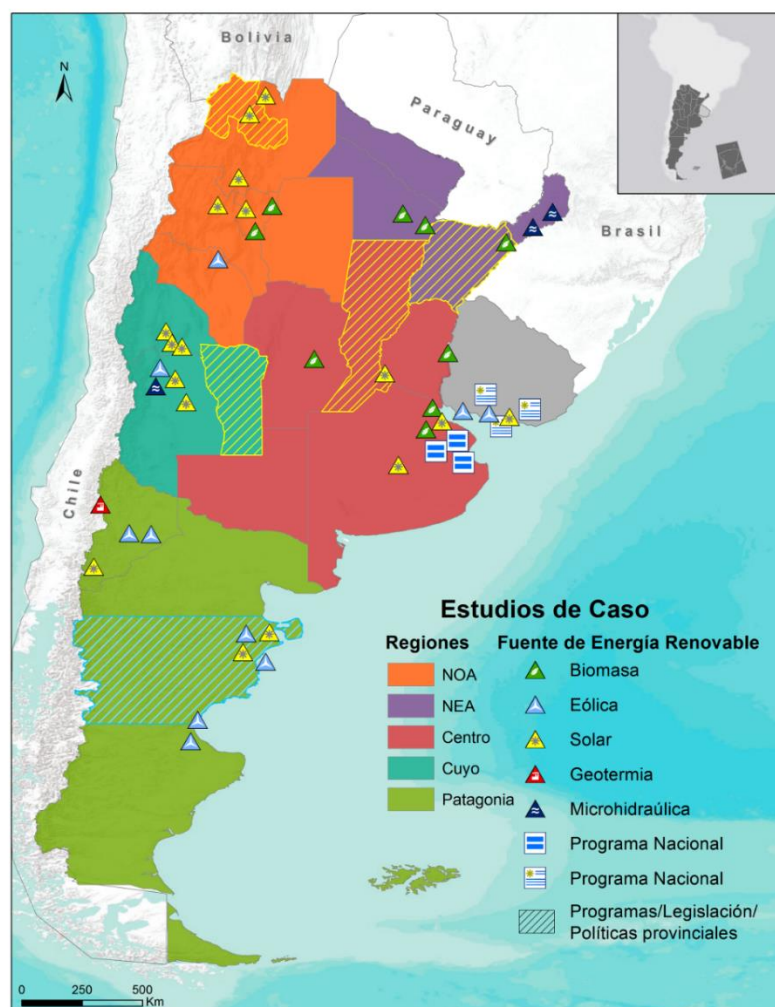
Como objetivo general, el proyecto planteó analizar la situación actual en el país de las ER, pero enfocada a la comprensión de las percepciones de los diversos grupos de actores vinculados. En el mismo sentido, las propuestas y las recomendaciones concretas generadas debían considerar diversas escalas y ámbitos de actuación públicos y privados, promoviendo un enfoque territorial, participativo y sistémico.

El desarrollo del proyecto requirió de la aplicación de diversas estrategias metodológicas, destacándose la realización de estudios de caso (relevamiento de campo), encuestas (a empresas del sector de ER y población en general) y espacios de construcción colectiva (talleres participativos y reuniones de trabajo). En particular, los estudios de caso posibilitaron cubrir todo el territorio argentino abarcando proyectos diversos en cuanto a fuentes energéticas (solar, eólica, minihidráulica, biomasa, geotermia) y tipos de intervención (escala local/nacional, iniciativa pública/privada, finalidad social/productiva, etc.). Se seleccionaron entre 7-9 experiencias como estudios de caso en cada región geográfica del país: NOA, NEA, Cuyo, Centro, Patagonia (Figura 4.1). Asimismo, se planteó analizar el escenario de las ER a nivel regional y se eligió la República Oriental del Uruguay para establecer estudios comparativos a nivel de procesos y de casos concretos. La generación de espacios participativos de reflexión y construcción colectiva se constituyó en una herramienta transversal al desarrollo del proyecto y resultó clave en el sentido de viabilizar acuerdos internos

³ El desarrollo de este capítulo, fue sintetizado del texto original del informe técnico elaborado de manera colectiva con el aporte de todos los integrantes del proyecto de Investigación Orientado (CONICET - Fundación YPF): “Energías Renovables en Argentina: Visiones y perspectivas de los actores sociales. Hacia un análisis integral de los Sistemas Tecnológicos Sociales, desarrollo productivo y sustentabilidad socio-ambiental” (Belmonte et al., 2017). Se aclara que la situación nacional ha sufrido algunos cambios hasta el momento de la presentación de la tesis, en particular en relación al rumbo político adoptado por el país. Las fotos presentadas corresponden a algunos de los relevamientos de campo en los que participé personalmente.

del grupo de trabajo y abrir el diálogo con otros actores referentes del área de ER para analizar los resultados obtenidos y generar nuevas propuestas.

Figura 4.1 Casos de ER relevados en el proyecto PIO



El análisis de las experiencias de ER se realizó siguiendo los siguientes pasos metodológicos:

- 1- Fichas previas: Se relevó toda la información existente de la experiencia en particular, teniendo en cuenta actores involucrados, incentivo de la iniciativa, línea temporal evolutiva del proceso, fuente de financiamiento, estado actual de situación.
- 2- Logística de campo: Se determinaron las experiencias a relevar, la ruta óptima a seguir, el equipo de trabajo y los días destinados para tal fin. Asimismo, se contactaba de manera virtual o vía telefónica con los actores involucrados para concertar hora y lugar de la reunión.
- 3- Visita in-situ: Se visitaron las experiencias y se realizaron entrevista semi-abiertas a los referentes claves involucrados en el proceso de desarrollo. Para las entrevistas se confeccionó una lista de interrogatorios que funcionaban como guía de seguimiento durante las consultas. Sin embargo, el orden o seguimiento taxativo de las mismas no era obligatorio porque lo más importante se centraba

en captar la visión y el aprendizaje particular de cada sujeto, lo cual en la mayoría de los casos se conseguía cuando el sujeto se sentía libre para expresarse.

4- Sistematización de cada experiencia relevada: En todo momento, se registraba mediante escritura, grabador, filmadora, fotografías y otros medios, el relato de los actores involucrados, el estado de situación de la experiencia y observaciones o reflexiones del grupo de trabajo de campo.

5- Integración de las experiencias observadas: A partir del material recaudado en las actividades anteriores se integraron las experiencias en fichas resúmenes finales, incorporando la visión de los investigadores y el relato de los diversos actores entrevistados. Asimismo, en un nivel más abstracto de análisis se integraron los casos por región y por fuentes energéticas.

6- Elaboración colectiva de conclusiones: Una vez integradas las experiencias, se llevó a cabo un taller con el grupo extendido de trabajo donde se revisaron todas las experiencias y el aprendizaje global de la situación actual de ER.

En la Tabla 4.1 se listan las actividades específicas desarrolladas por la doctoranda de acuerdo a las etapas desarrolladas anteriormente:

Tabla 4.1 Actividades realizadas por la doctoranda dentro del proyecto.

Etapas	Actividades
Fichas previas	<ul style="list-style-type: none"> - Diseño de fichas tanto base previa al relevamiento de actores sociales como de las fichas resúmenes finales posteriores al relevamiento. - Diseño de la guía de entrevistas a seguir en el momento de actividad con los entrevistados.
Logística de campo	<ul style="list-style-type: none"> - Análisis, diseño y construcción de base de datos con un total de 350 experiencias de ER a nivel nacional; cuyo objetivo fue determinar las experiencias a visitar presencialmente. - Armado de cronograma (días y horarios), logística de transporte y contacto con los actores relevantes de la zona a fin de concertar la reunión en 4 experiencias de campo.
Visita in-situ	<ul style="list-style-type: none"> - Se participó de 26 relevamientos sobre un total de 40. - Entrevista a todos los actores sociales vinculados a las visitas realizadas. - Reuniones de exposición informal con el grupo de entrevistadores sobre los aprendizajes expuestos por los entrevistados.
Sistematización de cada experiencia relevada	<ul style="list-style-type: none"> - Sistematización mecanográfica de las entrevistas. - Sistematización mecanográfica de las reflexiones del grupo de campo.
Integración de las experiencias observadas	<ul style="list-style-type: none"> - Construcción de fichas finales de los actores entrevistados, incorporando reflexiones y conclusiones personales. - Participación en las reuniones de reflexión grupal con el objeto de integrar los casos bajo el criterio regional y el criterio de recurso energético.

Elaboración colectiva de conclusiones	<ul style="list-style-type: none"> - Participación activa en el taller de trabajo donde se revisaron cada una de las experiencias y se realizó una revisión actual de las ER en Argentina. - Participación de reuniones de trabajo con la Directora y Co-Directora del proyecto con el objeto de elaborar las conclusiones finales.
--	---

Los resultados del proyecto, permitieron caracterizar el estado de situación en cuanto al desarrollo de ER en Argentina para las diferentes fuentes energéticas renovables, incluyendo un análisis de la legislación e incentivos vigentes y la confección de una base de datos preliminar de proyectos de ER del país. Asimismo, las percepciones de los diversos grupos de actores sociales vinculados (sector privado, sector gubernamental, sector CyT, usuarios, etc.) fueron integradas en el análisis de las ER a nivel territorial, destacándose aspectos claves referidos al conocimiento y aplicación de las tecnologías, procesos organizacionales y de gestión, cuestiones socio-ambientales, condicionantes políticos y económicos, entre otros.

4.2 Escenario latinoamericano

En un informe reciente centrado en 26 países de América Latina y el Caribe (CLIMATOSCOPIO 2014), se relevaron un conjunto de datos socioeconómicos, que permiten formar una imagen de la situación de las energías renovables en América Latina. Según este estudio, la capacidad de generación renovable totalizaría unos 30,7 GW en toda América Latina. De este total, un 63% se encuentra en Brasil, un 11% en México, Chile es el tercero en el ranking con casi el 5%, y luego se encuentran Costa Rica con 3% y Perú con 2,5%. En nuestro país, en cuanto a capacidad de generación renovable instalada, Argentina se encontraría en el octavo lugar, representando el 1,8% de la capacidad regional.

Según revela el informe, existen varias explicaciones que ayudan a entender por qué en algunos países se invierte más en energías limpias que en otros. Por ejemplo, en el 2013, solamente cinco países latinoamericanos: Brasil, Chile, Uruguay, México y Perú han recibido el 94% de las inversiones en energías limpias. De ellos, Brasil, Chile y Perú, han implementado satisfactorios esquemas de licitaciones para contratos de largo plazo de suministro eléctrico basado en fuentes limpias. En tanto que Chile y México han implementado impuestos sobre las emisiones de dióxido de carbono, aplicados mayormente a las centrales térmicas de generación de electricidad. Estos casos señalan que el factor precio es fundamental, ya sea que las nuevas tecnologías sean competitivas respecto a las fuentes convencionales, o que para que resulten competitivas es necesario corregir los incentivos, de manera de incorporar en el proceso de decisión los costos atribuibles a las externalidades negativas que ocasiona la generación térmica convencional.

Por otro lado, aquellos países en los que las energías limpias muestran una baja penetración se explican, en general por la disponibilidad de recursos energéticos que sesgan las tarifas energéticas, como por ejemplo el caso de Paraguay, donde las grandes centrales hidroeléctricas explican el 100% de la generación, o

bien en Trinidad y Tobago, Venezuela y Surinam, que son productores de hidrocarburos, lo cual deprime las tarifas de las fuentes fósiles.

En este contexto, la situación de Argentina resulta desconcertante, ya que los niveles de inversión en energías limpias no resultan proporcionales a su nivel de desarrollo relativo; tampoco la existencia de regiones con condiciones óptimas para la provisión de energías limpias resulta un atractivo, y no se ha sumado siquiera a los mecanismos de incentivos de los países más próximos, con los que conforma el MERCOSUR.

Un ejemplo de un camino alternativo, dentro de las experiencias sudamericanas, es la experiencia de Uruguay, donde primero se diagnosticaron las debilidades del sistema energético, y en función de ellas se fijó un horizonte en una propuesta de política energética nacional, en el cual se establecían acciones, de manera articulada y complementaria, con metas a corto, mediano y largo plazo (CEPAL, 2015). En el mismo documento, se analizan los logros y falencias del sistema, y se concluye que los resultados en términos de conformación de cadenas de valor local no estuvieron a la altura de las expectativas, en tanto las empresas locales presentaron dificultades para atender a las especificaciones de la demanda de suministros. Por otro lado, en cuanto a la incorporación de generación renovable, se considera que el sistema ha sido exitoso, posibilitando la incorporación, hasta el 2014, de casi 900 MW, de los cuales se encuentran en operación un total de 0.5 MW de fuente solar fotovoltaica, 397 MW de fuente biomasa y 479 MW de fuente eólica.

A partir de las lecciones aprendidas en el marco del análisis comparado de las regulaciones de los países del Mercosur realizado en CEPAL (2015), se puede concluir que, de manera complementaria a los acuerdos sociales respecto a la futura matriz energética argentina, es necesario complementar la instrumentación normativa por medio de la participación efectiva del Estado a través de empresas públicas u organismos financiadores. En este sentido, Uruguay y Brasil ofrecen ejemplos concretos de este tipo de acciones. En Uruguay, el notable proceso de transición energética fue conducido por la empresa estatal UTE articulando esfuerzos públicos con capital privado. En el caso brasileño, el Banco Nacional de Desarrollo (BNDES) fue el principal financiador de los proyectos basados en ER desarrollado por el capital privado. Por el contrario, Chile, con una política de mercado desregulado y la instrumentación de mecanismos de incentivo, aparece como el contraejemplo, exhibiendo pobres resultados de promoción.

4.3 Situación nacional de las energías renovables

4.3.1 Contexto legal

El estudio del escenario de ER nacional fue desarrollado en el año 2016 por lo que se encuentra contextualizado en un conjunto de normativas nacionales que a la fecha de presentación de la tesis de investigación pueden haber cambiado. Las principales leyes y normativas nacionales relativas a ER son descritas brevemente a continuación:

- Ley Nº 25.019/98. Régimen Nacional de Energía Eólica y Solar. Declara de interés nacional la generación de energía eléctrica de origen eólico y solar en todo el territorio nacional.

- Ley Nº 26.093/06 - Decreto 109/07. Régimen de regulación y promoción para la producción y uso sustentable de biocombustibles. Régimen específico de promoción de la producción de biocombustibles (bioetanol, biodiesel y biogás) que se produzcan a partir de materias primas de origen agropecuario, agroindustrial o desechos orgánicos. Establece un corte mínimo obligatorio para agregar a las naftas del 5%.
- Ley Nº 26.123/06. Régimen para el desarrollo de la tecnología, producción, uso y aplicaciones del hidrógeno como combustible y vector de energía. Se declara de interés nacional el desarrollo de la tecnología, la producción, el uso y aplicaciones del hidrógeno como combustible y vector de energía.
- Ley Nº 26.190/06. Régimen de Fomento Nacional para el uso de fuentes renovables de energía destinadas a la producción de energía eléctrica. Declara de interés nacional la generación de energía eléctrica a partir del uso de fuentes de energía renovables con destino a la prestación de servicio público como así también la investigación para el desarrollo tecnológico y fabricación de equipos con esa finalidad, ampliando tanto las fuentes que se consideran de interés, como las actividades promocionadas. Definen como fuentes de energías renovables a las fuentes de energía no fósiles: eólica, solar, geotérmica, mareomotriz, hidráulica (menores a 30 MW), biomasa, gases de vertedero, gases de plantas de depuración y biogás.
- Ley Nº 26.334/2008. Régimen de Promoción de la Producción de Bioetanol. Destinado a impulsar la conformación de cadenas de valor mediante la integración de productores de caña de azúcar e ingenios azucareros en los procesos de fabricación de bioetanol.
- Decreto 108/2011. Habilita la realización de Contratos de abastecimiento entre el Mercado Eléctrico Mayorista y las ofertas de disponibilidad de generación y energía asociada.
- Ley Nº 27.191/2015. Modifica la Ley Nº 26.190 - Régimen de Fomento Nacional para el uso de fuentes renovables de energía destinadas a la producción de energía eléctrica. Difiere en un año la fecha límite para que la Argentina alcance a cubrir el cupo del 8% de generación basada en fuentes renovables. También establece la obligatoriedad de incorporar el mínimo del 8% de generación en la compra de energía de los grandes usuarios, que contratan potencia y energía directamente en el mercado mayorista, así como a las grandes demandas que sean clientes de los prestadores del servicio público de distribución, y se establecen penalidades para el incumplimiento de los mínimos obligatorios.
- Decreto 531/2016. Reglamenta la Ley Nº 27.191/2015. Este Decreto Reglamentario, perfecciona las Leyes Nº 26.190 y Nº 27.191, y eventualmente completa algunas lagunas potenciales, como el caso de la aparición de nuevas fuentes de energías renovables todavía no descubiertas. Sienta los criterios de aplicación de la Ley, estableciendo el monto de asignación presupuestaria para los beneficios de la Ley por el Fondo para el Desarrollo de Energías Renovables (FODER).

4.3.2 Programas nacionales

En los últimos años se destacaron varios programas relacionados con las ER el país (Tabla 4.2). Estas políticas estatales están orientadas por dos estrategias aisladas entre sí: una para promover grandes proyectos que modifiquen la configuración actual de la matriz energética (diversificación de la matriz energética) y otra para promover el uso de las ER incorporando sectores de la población que tienen dificultades de acceso (universalización del acceso a la energía).

Tabla 4.2 Principales programas nacionales de ER

Programa	Objetivo e implementación
PERMER (1999 - continúa)	<p>El Programa de Energía Renovable en Mercados Rurales (PERMER) es el primer programa específico y de gran escala desarrollado en el país, y fue concebido para responder a las necesidades de electrificación de las poblaciones rurales aisladas. Es coordinado desde la Secretaría de Energía del Ministerio de Planificación Federal, Inversión Pública y Servicios pero se implementa a partir de acuerdos con los gobiernos provinciales y aportes de financiamiento del Banco Mundial.</p> <p>Refiere principalmente al abastecimiento de energía (en un primer momento eléctrica, y actualmente también térmica) para viviendas rurales aisladas y establecimientos públicos como escuelas, centros de salud y destacamentos policiales.</p>
GENREN (2009-2015)	<p>El programa Generación Renovable (GENREN) estuvo orientado a la promoción de proyectos de generación basados en fuentes de energías renovables destinados a su interconexión al Sistema Argentino de Interconexión (SADI).</p> <p>Fue implementado a través de la empresa estatal Energía Argentina S. A. (ENARSA) con la finalidad de “afianzar el desarrollo sustentable de las energías renovables en todo el país”.</p> <p>De acuerdo a lo establecido en el proyecto, ENARSA se comprometía a comprar la energía a los generadores a precios fijos, en dólares, por 15 años, para venderla luego al MEM.</p> <p>El GENREN comienza con una licitación de 1.000 MW de potencia en proyectos renovables, la cual se ve superada por las ofertas presentadas en el 2009 (superiores a 1.440 MW). Sin embargo, cinco años después, dentro del programa sólo se llegó a habilitar un 19% de la potencia originalmente licitada.</p>
PRONUREE (2007- continúa)	<p>El Programa Nacional de Uso Racional y Eficiente de la Energía (PRONUREE) fue creado con el objetivo de propender a un uso eficiente de la energía eléctrica y de concientizar a los usuarios sobre el uso racional y eficiente de dicho recurso. Se trata de un programa complementario a los otros programas de energías renovables.</p> <p>Se propone incrementar la eficiencia en el uso de la energía, impulsando medidas en un amplio abanico de sectores que van desde la educación, al etiquetado de productos, así como a la mejora en la eficiencia del alumbrado público y al análisis de los instrumentos regulatorios para fomentar la eficiencia en diversos sectores de consumo de energía.</p>
PROBIOMASA (2012- continúa)	<p>El proyecto para la promoción de la energía derivada de biomasa (PROBIOMASA) es una iniciativa de los Ministerios de Agricultura y de Planificación a través de las Secretarías de Agricultura, Ganadería y Pesca y la Secretaría de Energía con la asistencia técnica de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO).</p> <p>Su objetivo es incrementar la producción de energía térmica y eléctrica derivada de biomasa a nivel local, provincial y nacional para asegurar un creciente suministro de energía limpia, confiable y competitiva, y a la vez, abrir nuevas oportunidades agroforestales, estimular el desarrollo regional y contribuir a mitigar el cambio climático.</p>

Programa	Objetivo e implementación
IRESUD (2011-continúa)	El proyecto tiene por objeto desarrollar tecnología y conocimiento local para promover en Argentina la instalación de sistemas fotovoltaicos de baja tensión con inserción en la red eléctrica pública. Contempla cuestiones técnicas, económicas, legales y regulatorias. El proyecto es parcialmente subsidiado con Fondos Argentinos Sectoriales (FONARSEC) a través de la Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica (ANPCyT) del Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva (MINCyT), y para su ejecución se creó un Convenio asociativo público-privado.
RenovAr (2016-continúa)	El Programa RenovAr (Ronda 1) es una Convocatoria Abierta Nacional e Internacional para la calificación y eventual adjudicación de ofertas para la celebración de contratos de abastecimiento de energía eléctrica generada a partir de fuentes renovables, en aras de aumentar la participación de las fuentes renovables de energía en la matriz energética del país. El abastecimiento se hace a través de CAMMESA en representación de los agentes distribuidores y grandes usuarios del MEM.

4.3.3 Aplicaciones de energías renovables en Argentina

En este apartado se presentan los resultados obtenidos del proceso de relevamiento de los casos de estudios, agrupados por fuente de energía renovable.

a) Generación solar fotovoltaica

Sistemas conectados a red (generación centralizada y distribuida)

La energía solar fotovoltaica tuvo su principal impulso en la provincia de San Juan. Por un lado, los 20 MW adjudicados en la licitación del programa GENREN se ubicaron en esta provincia, aunque sólo se instalaron 7 MW (Cañada Honda y Chimbera). Esto marca una sub-ejecución de los proyectos adjudicados que coincide con lo sucedido con los proyectos eólicos y de otro tipo de renovables. Los principales avances logrados en la provincia en el campo de la energía solar fotovoltaica se desarrollaron en el marco del Plan Solar San Juan, impulsado por el estado provincial a través de la empresa EPSE (Energía Provincial Sociedad del Estado). El plan tiene como objetivo general desarrollar la cadena de valor del silicio a través de la industrialización de la materia prima disponible en la provincia y el desarrollo de proyectos de generación de energía eléctrica implementados por la EPSE (sola o en sociedad con privados). En el marco del Plan Solar San Juan se puso en marcha una planta piloto de generación solar fotovoltaica de 1,2 MW de potencia instalada en Ullum. Este proyecto se realizó para generar conocimiento sobre la generación fotovoltaica y poner a prueba diferentes sistemas y tecnologías. De este modo, se produjeron conocimientos para orientar y mejorar la toma de decisiones para el desarrollo de nuevos proyectos. El eje central del Plan Solar San Juan es la construcción de una fábrica de paneles solares desde el procesamiento del silicio hasta el armado de los paneles. La fábrica está proyectada con una capacidad de producción de 70 MW anuales de paneles fotovoltaicos para ser instalados en nuevos proyectos de generación concentrada.

Más recientemente, se pusieron en marcha nuevos proyectos de generación centralizada a partir de energía solar fotovoltaica en otras provincias (San Luis, Santa Fe, Mendoza y Buenos Aires). En todos los casos mencionados, los proyectos son iniciativas estatales a través de diferentes dependencias en el marco de

políticas públicas amplias en temas de energías renovables. Sin embargo, estos proyectos no están planificados como políticas integrales como la desarrollada en San Juan.

Algunas provincias avanzaron en impulsar legislación orientada a promover y regular la instalación de sistemas de generación distribuida con conexión a red (Santa Fe, Salta y Mendoza) en los últimos 5 años. La legislación desarrollada propone diferentes formas de incentivos para que los usuarios domiciliarios puedan generar energía e inyectarla a la red con algún tipo de retribución económica (net metering, net billing, feed in tariff) . Hasta el momento los resultados de este tipo de iniciativas no han sido relevantes.

Por otro lado, a nivel nacional se está desarrollando el proyecto IRESUD con el objetivo de analizar y evaluar la operatoria de sistemas fotovoltaicos conectados a red en diferentes regiones del país. Este tipo de iniciativas se vienen desarrollando de forma aislada y los conocimientos generados en el marco de este proyecto, no fueron utilizados para la elaboración y redacción de la legislación.

Sistemas aislados

El uso de sistemas aislados de generación solar fotovoltaica ha tenido un gran desarrollo en todo el país a través del Proyecto de Energías Renovables en Mercados Rurales (PERMER). Este programa nacional es desarrollado bajo la órbita de la Secretaría de Energía de la Nación y tiene una implementación provincial a partir de acuerdos con cada gobierno. El programa se orienta al abastecimiento eléctrico domiciliario y de instituciones públicas como escuelas y centros de salud que no tienen acceso a redes de energía eléctrica. En cada provincia la administración del sistema puede organizarse de diferente modo: a través de una empresa privada concesionaria, una empresa pública, una dependencia estatal o una cooperativa.

La experiencia del PERMER Jujuy sobresale sobre otros proyectos de instalación de sistemas fotovoltaicos para poblaciones aisladas por su eficiente organización y cobertura territorial. En muchos de los proyectos desarrollados por grupos universitarios u ONGs, los sistemas fotovoltaicos son instalados a modo de donación, pero no se establece un mecanismo de mantenimiento, ni el financiamiento del mismo. Además, deja en evidencia que la sustentabilidad de proyectos de este tipo requiere un soporte organizacional que es tan importante como la tecnología artefactual.

b) Energía Solar Térmica

Calentamiento de agua

El calentamiento de agua con colectores o calefones solares es una de las tecnologías más difundida de las aplicaciones térmicas de la energía solar y ha alcanzado una gran escala de adopción a nivel mundial. Su aprovechamiento en Argentina es todavía muy escaso en comparación a las cifras observables a nivel mundial. Sin embargo, en los últimos años, estas tecnologías experimentaron una extensa y rápida difusión sobre todo en zonas que no cuentan con red de gas natural. Asimismo, se consolidó en el país un grupo de empresas fabricantes de calefones solares que tienen que competir con equipos importados (generalmente

de origen chino, basados en tubos de vidrio al vacío). Estas empresas (en su amplia mayoría pymes) reciben asistencia técnica del INTI para certificar sus productos.

La adopción de este tipo de tecnología es impulsada por diferentes políticas públicas a escala provincial o municipal. La provincia de San Luis, por ejemplo, desarrolló un plan de instalación de calefones solares en las localidades de La Calera y Batavia. La evaluación positiva que hicieron los usuarios convenció al gobierno provincial de extender esta experiencia a más localidades de la provincia (una por cada departamento) como parte de un Plan Termosolar. Además, en la experiencia de San Luis se da una articulación de la política pública provincial, la universidad y la industria local a través de una empresa pyme especializada en este tipo de desarrollo tecnológico.

Otra provincia que fomentó la adopción de calefones solares fue Santa Fe a través del Programa “Un sol para tu techo”. El programa consiste en la creación de una línea de créditos blandos a través del Banco de Santa Fe para la adquisición y colocación de colectores solares de fabricación nacional en las viviendas. Para ello se elaboró un registro de proveedores e instaladores habilitados para acceder al crédito.

Recientemente, el PERMER impulsó la instalación de equipos solares térmicos (cocinas y calefones solares) en algunas provincias. En algunos casos se concentró en la instalación de calefones en instituciones públicas como escuelas rurales (caso de Corrientes). En esta provincia se instalaron colectores de fabricación nacional porque se adaptaba mejor a las condiciones específicas de las instalaciones. En este sentido, fue fundamental la elaboración de una evaluación específica de necesidades para establecer los requerimientos técnicos. El mismo criterio se estableció en el caso de las experiencias desarrolladas en San Luis. En el NOA se impulsó la instalación de equipos solares térmicos también para uso domiciliario (Jujuy, Salta y Tucumán).

Cocción solar

La cocción solar tiene una amplia difusión en las provincias del noroeste y cuyo. Este tipo de tecnología es implementada como una solución alternativa a la escasez de leña en zonas áridas donde no hay acceso a redes de gas natural o provisión de gas envasado. Su adopción se enfrenta a limitaciones debido a problemas de adecuación con las prácticas cotidianas de la población en relación a los tiempos de cocción y hábitos de alimentación. Estas limitaciones surgen debido a problemas de diseño y planificación por no contemplar todas las variables en juego y los posibles procesos de resistencia. En muchas ocasiones, otro tipo de alternativas como las cocinas a leña de alta eficiencia se adaptaron mejor con las prácticas habituales de los potenciales usuarios.

Por ejemplo, en algunos casos se impulsaron proyectos en instituciones públicas como escuelas rurales que tienen garantizada la provisión de leña por parte del estado provincial. De este modo, la efectiva adopción de las cocinas solares ha sido prácticamente nula ya que la cocción a leña está asegurada y se adapta mejor a las condiciones y horarios en las que se realiza el trabajo cotidiano del personal de las escuelas. Otros

proyectos de cocinas solares se orientaron a disminuir la presión sobre el ambiente, como el caso de la reserva natural de Nacuñán (Figura 4.2).

Figura 4.2 Relevamiento de campo de proyecto de cocinas solares en Mendoza.



Edificios bioclimáticos y eficiencia energética

El diseño bioclimático aplicado a edificios (Figura 4.3) tiene significativos antecedentes en investigación y cuenta con un gran desarrollo en la Argentina en los últimos 40 años. Sin embargo, la incorporación de los conocimientos generados a nivel de regulaciones o políticas públicas, así como la implementación en proyectos concretos de arquitectura siguen siendo muy fragmentados e insuficientes. Entre las dificultades observadas en estos años de experiencia, se puede resaltar el grado de complejidad del tema, dado que requiere de la concientización y maduración de un complejo colectivo en el que interviene la academia y la capacitación de profesionales, la industria, los instaladores y técnicos y los entes de normalización y regulación. Se debe tener en cuenta que el diseño bioclimático integra necesariamente aspectos relacionados con la eficiencia energética de su envolvente (diseño y materiales), la que tiene que ser coherente con el bioclima en el cual se implanta, y la incorporación de sistemas específicos con implementación de energías renovables asociadas a las demandas de climatización y energía eléctrica según corresponda.

Existen algunas experiencias de Institutos de Vivienda provinciales que avanzaron en proyectos concretos de construcción de viviendas sociales con criterios de construcción bioclimática. En general, estas experiencias surgen a partir de iniciativas individuales de funcionarios públicos que logran involucrar a diferentes actores. En la mayoría de los casos se da a través de actores claves que tienen una doble inserción en el ámbito académico y el sector público. Asimismo, estas iniciativas no logran tener la continuidad necesaria debido a la lógica fluctuante de las políticas públicas (cambios de funcionarios y de gobierno).

Figura 4.3 Escuela bioclimática Marcelino Blanco, Mendoza.



b) Energía eólica

Alta potencia

La energía de alta potencia tiene una trayectoria de más de 35 años en Argentina. La amplia mayoría de estos proyectos fueron desarrollados en la década de 1990 por cooperativas eléctricas aprovechando condiciones macroeconómicas particulares como el tipo de cambio favorable, acceso al crédito y programas de cooperación internacional. Muy pocos de los parques eólicos instalados en estas condiciones están operativos en la actualidad. El caso más representativo es el de Comodoro Rivadavia que fue en su momento el parque eólico más grande de América Latina con 26 aerogeneradores y 16 MW de potencia instalada, que hoy en día no funciona. Los problemas que provocaron la paralización del parque eólico fueron de diferente tipo: cuestiones técnicas con los equipos comprados que no soportaron los vientos imperantes, el emplazamiento elegido, relaciones de política local conflictivas, limitaciones financieras, cambio de condiciones macroeconómicas. Los responsables del proyecto reconocen que les faltó realizar una evaluación técnico-económica adecuada al momento de poner en marcha y ampliar el proyecto.

En el año 2009, los resultados de la licitación del programa GENREN fueron una muestra del potencial que tiene la energía eólica en Argentina. De la potencia instalada total licitada de 1000 MW, 754 MW fueron adjudicados a proyectos eólicos de alta potencia, lo que representaba el 84% del total de proyectos adjudicados. El programa ofrecía muy buenas condiciones de contrato por 15 años con precios fijos en dólares mayores a los 120 dólares por MW/h.

Sin embargo, del total de proyectos adjudicados, sólo dos fueron concretados (Parque eólico Rawson y Loma Blanca). El criterio establecido para definir la adjudicación de los proyectos se centró en las mejores condiciones técnico-económicas, pero la mayoría no contaba con financiamiento garantizado para la

realización de las obras. Los adjudicatarios que no pudieron concretar sus proyectos plantean que las dificultades experimentadas por el país hacían que el costo del crédito sea demasiado alto. Asimismo, se comentó que los inversores desconfiaban del cumplimiento de los contratos por parte de CAMMESA. Los parques eólicos que se concretaron en el marco del GENREN muestran una realidad diferente. Los precios pactados-fijados con CAMMESA para la energía generada por los parques fue muy alta, y la energía vendida fue pagada con puntualidad. En este sentido, los responsables de los parques estiman que la inversión inicial se podría amortizar en 4 o 5 años (de 15 que tienen los contratos). Las experiencias concretas de Loma Blanca y Parque Eólico Rawson han tenido muy escasa relación con el medio local. La comunidad local en general no percibió qué tipo de beneficio puede traerle un parque eólico que sólo ha ofrecido nuevos empleos al momento de su construcción. Por otro lado, las relaciones de las empresas propietarias y las autoridades provinciales y municipales llegaron a ser conflictivas en algunos casos. En particular, el gobierno de la provincia de Chubut busca establecer un impuesto específico para la generación de energía a partir del recurso eólico.

Por fuera del GENREN, se destaca el desarrollo de proyectos eólicos impulsados por algunos estados provinciales como el parque eólico Arauco en La Rioja y el parque eólico El Jume en Santiago del Estero. Estos dos proyectos tienen dos elementos en común: en ambos casos se constituyeron sociedades anónimas con participación estatal mayoritaria (SAPEM) y los aerogeneradores instalados fueron provistos por la empresa argentina IMPSA Wind. Al igual que los proyectos privados, la instalación de estos parques eólicos se hizo a través de contratos llave en mano. La única diferencia en estos casos, es que la operación y control de estos parques lo realiza la empresa IMPSA desde la provincia de Mendoza. La tarifa se negocia por proyecto en relación a la energía generada, costos y el componente de producción local que cuentan los proyectos. Estos parques eólicos cuentan con equipos de producción nacional e involucra a diferentes empresas proveedoras de componentes para los aerogeneradores.

La concreción de estos primeros proyectos eólicos hizo visible la conformación de un sector industrial especializado. En 2011, la Cámara de Industriales de Proyectos e Ingeniería de Bienes de Capital (CIPIBIC) creó el Clúster Eólico Argentino que agrupa 57 empresas vinculadas al sector eólico entre fabricantes de turbinas, torres, transformadores, sistemas de control, etc. Sin embargo, los resultados obtenidos en la incorporación de nueva potencia eólica en Argentina son muy magros todavía.

Baja potencia

La Argentina es pionera en la generación de energía eólica de baja potencia, ya que cuenta con más de 300.000 unidades en operación para extracción de agua en zonas agrícola ganaderas. La máquina más utilizada es el centenario Multipala americano, que curiosamente mantiene prácticamente el mismo diseño que tenía a finales del siglo XIX.

Además, existen 16 empresas (en su gran mayoría pymes) que producen aerogeneradores de baja potencia. Estas empresas acordaron avanzar en un proceso de certificación con el INTI en el Laboratorio de

medición de desempeño de aerogeneradores de baja potencia en la localidad de Cutral-Có (Neuquén). Este proyecto se propone poner a prueba los equipos para obtener nuevo conocimiento que les permita a los fabricantes mejorar sus productos. También se busca brindar un control de calidad único en la región con un certificado de la curva de potencia de los aerogeneradores testeados.

Por el momento, la producción local de aerogeneradores logró desarrollarse sin necesidad de apoyo estatal. Esta situación se explica por la complejidad propia de los vientos locales (sobre todo en la Patagonia). Incluso, las primeras empresas fabricantes se iniciaron reparando aerogeneradores importados que no soportaban los vientos locales.

El programa PERMER, incorporó en su implementación aerogeneradores de baja potencia en la provincia de Chubut. Este fue el único caso en el país ya que la provincia contaba con un estudio detallado del recurso. La adopción de este tipo de tecnología fue una decisión impuesta desde el comienzo. Este condicionamiento limitó la posibilidad de evaluar las condiciones particulares de cada localización en los que el recurso eólico no era similar.

c) Energía de biomasa

Generación eléctrica

La generación de energía eléctrica a partir de biomasa presenta grandes oportunidades en el país si se garantiza la disponibilidad del recurso. Asimismo, este tipo de aprovechamiento energético puede articularse de manera positiva con otro tipo de políticas industriales y medio ambientales. Un claro ejemplo de esto último es la captación de gases en rellenos sanitarios como el caso del complejo del CEAMSE en el partido de General San Martín en la provincia de Buenos Aires. La disposición final de los residuos sólidos urbanos es un gran desafío de las grandes ciudades que generan grandes problemas ambientales. El aprovechamiento del metano producido en estos establecimientos permite generar recursos económicos para financiar procesos más eficientes. Asimismo, la implementación de este tipo de sistemas de generación puede financiarse a través de líneas de crédito y subsidios con fines de mejora ambiental.

La problemática ambiental también es central en las experiencias de generación con residuos de procesos productivos como los de la industria forestal o la yerbatera. Estos son acusados por dos motivos: la quema a cielo abierto o la acumulación de los residuos.

En la industria azucarera, la mayoría de los ingenios queman sus residuos en calderas para obtener la energía necesaria para el proceso productivo. Por este motivo, ya tienen una práctica de aprovechamiento del recurso biomásico generado en su actividad. Sin embargo, son muy pocos los ingenios que utilizan esas calderas para producir electricidad. En los últimos años, los ingenios Santa Bárbara de Tucumán y El Tabacal de Salta incorporaron proyectos de cogeneración de energía eléctrica en sus plantas industriales.

Biocombustibles

La producción de biocombustibles fue uno de los sectores de mayor crecimiento en Argentina en los últimos 10 años. La ley de biocombustibles de 2006 obligó a las empresas petroleras a comprar biodiesel y bioetanol para cumplir con el corte obligatorio. De este modo, se abrió una nueva oportunidad para el complejo agro-industrial de agregado de valor para su producción.

Muchas empresas aceiteras y acopiadoras de granos fueron las que desarrollaron las principales plantas productoras de biodiesel utilizando como principal insumo el aceite de soja. De este modo, la producción de biodiesel se montó sobre uno de los sectores más dinámicos de la economía argentina que contaba con recursos financieros para encarar este tipo de proyectos. El nivel de producción permitió incluso llevar el corte obligatorio del 5% al 20% en 5 años.

El bioetanol experimentó un proceso más lento. Sin embargo, se consolidó como una actividad complementaria de la industria azucarera aprovechando que la mayoría de los ingenios ya producían alcohol etílico. Para poder abastecer el mercado de combustibles se necesitó instalar en los ingenios plantas deshidratadoras para producir Alcohol Anhidro o bioetanol. Esta actividad fue bien recibida por el sector azucarero porque ofrecía una nueva alternativa que permitía enfrentar los altibajos del precio del azúcar.

Figura 4.4 Relevamiento de experiencias de energía de biomasa en Tucumán y Chaco.



Biogás

Las experiencias de biodigestión en Argentina presentan una gran diversidad en relación al sustrato utilizado y al uso que se le da al biogás obtenido (generación de electricidad, procesos industriales térmicos, autoconsumo). En los casos desarrollados en establecimientos industriales los proyectos de biodigestión surgen en su mayoría para resolver problemas ambientales asociados al manejo de los residuos. Sin embargo, en todos los casos a la preocupación ambiental se le incorpora la posibilidad de generar un ahorro energético utilizando el biogás producido.

Los proyectos pueden ser desarrollados a partir de capacidades técnicas locales o a través de tecnologías importadas. Un ejemplo de la primera opción mencionada, es el caso de la empresa Avícola Las

Camelias de Entre Ríos cuyo biodigestor fue diseñado por un técnico local con apoyo del INTI. La citrícola Citrusvil de Tucumán, en cambio, contrató a una empresa de origen Belga para el diseño y la construcción de su biodigestor.

La adecuación de sistemas desarrollados para otras regiones es uno de los temas más delicados de los proyectos de biodigestión. Es necesario evaluar las condiciones particulares de los sustratos utilizados y cuestiones climáticas. Un aprendizaje que aporta el caso de Citrusvil es el acuerdo que logró con la empresa proveedora para el desarrollo de un proceso de experimentación con dos tecnologías antes de tomar la decisión final sobre cual elegir. Otras empresas ofrecían un paquete cerrado sin posibilidad de probarlo en terreno. Los responsables del proyecto resaltan este aspecto de su experiencia como clave para definir el sistema más adecuado para sus necesidades.

d) Otras energías renovables

Pequeños aprovechamientos hidroeléctricos

La ley 26190 de 2006, consideró como renovables a la generación hidroeléctrica menor a 30 MW. De este modo, muchas centrales que ya estaban operativas en diferentes provincias pasaron a sumar parte de la generación renovable del país.

El programa GENREN incluyó en su licitación nueva potencia hidroeléctrica de este tipo y fueron adjudicados 5 proyectos (todos menores a 5 MW). De estos proyectos, sólo se pusieron en marcha 2 en la provincia de Mendoza. En ambos casos fueron viejas usinas abandonadas ubicadas en el sistema de canales de riego cercano a la ciudad de Mendoza. Los pequeños aprovechamientos hidroeléctricos que se concretaron fueron La Lujanita (1,7 MW/h) y Luján de Cuyo (1 MW/h).

Los pequeños aprovechamientos hidroeléctricos presentan limitaciones debido a los altos costos de inversión inicial que requieren (principalmente en obra civil) en relación a su capacidad de generación. Este tipo de problemas se reducen notablemente si se busca recuperar centrales abandonadas que cuentan con la obra civil en buen estado de conservación. Otra alternativa a analizar es combinar este tipo de proyectos con sistemas de riego o acumulación.

Geotermia

La energía geotérmica es otra de las fuentes renovables disponibles en Argentina. El recurso fue explorado en Copahue donde se realizó una primera experiencia de generación con la agencia de cooperación japonesa (JICA). En los últimos años, la Agencia de Inversiones de Neuquén (ADI-NQN) impulsó un nuevo proyecto de generación eléctrica que fue adjudicado a una empresa canadiense. El proyecto fue fuertemente resistido por la población local que se sigue oponiendo a la instalación de este tipo de proyectos en la zona (con importante actividad turística). Finalmente, la empresa canadiense abandonó el proyecto porque consideró que no estaban dadas las condiciones. El caso Copahue muestra claros problemas de comunicación por parte de los impulsores del proyecto y la población local.

4.4 Reflexiones del capítulo

En este capítulo se enmarcó la investigación dentro del contexto nacional y latinoamericano de las ER. Se puede destacar que Argentina se encuentra entre los países de América Latina de menor proporción de fuentes renovables en su matriz eléctrica, a pesar de ser rica en fuentes de origen renovable.

El panorama nacional fue analizado a partir de la participación en un proyecto de investigación de alcance nacional, cuya directora y co-directora de proyecto, son a su vez de (co-directora y directora) de esta tesis doctoral. A partir de dicho análisis y en función de la metodología propuesta en esta tesis, se pudo reflexionar conjuntamente con otros grupos de investigación sobre la diversidad de escalas de intervención, actores involucrados, fuentes renovables y tecnologías aplicadas. Como reflexión general y conjunta cabe destacar que se presentan problemas comunes para la implementación de los proyectos y acciones. Para asegurar mejores resultados e impactos, se identifican al menos tres puntos claves: promover el diálogo inter-actoral, generar redes de articulación y vinculación tecnológica, y asegurar el seguimiento y monitoreo de los proyectos.

Se puede observar que las ER están relacionadas a múltiples aspectos, no solo al técnico/tecnológico, sino también a los aspectos: social, político, ambiental, cultural, económico, etc. En este sentido es necesario realizar un abordaje multi-actoral, multi-dimensional e integral para el fomento de las ER, valorando estas fuentes energéticas como una oportunidad de desarrollo social sustentable. Asimismo, se identificó como prioritario la participación y el compromiso de diversos grupos de actores claves (potenciales usuarios, docentes, niños y jóvenes, profesionales, funcionarios y tomadores de decisiones, etc.) en el proceso de incorporación de ER.

Para obtener mayor detalle sobre la situación actual nacional se puede acceder a la página web del proyecto: <http://energiarenovablesociedad.com/> donde se pueden encontrar varias publicaciones científicas sobre el proceso de investigación y los resultados obtenidos, descargar el libro de divulgación “Experiencias de Energías Renovables en Argentina. Una mirada desde el territorio” (Belmonte et al., 2017), el cual narra todas las experiencias relevadas, y el informe final del proyecto que describe en detalle todas las etapas del proceso de estudio.

4.5 Referencias del capítulo

Belmonte, S. et al. “Experiencias de energías renovables en Argentina: una mirada desde el territorio” / Coordinadoras: Silvina Belmonte – Judith Franco - Co-autores del libro: Silvina Belmonte, Judith Franco, Santiago Garrido, Carlos Dícoli, Irene Martini, Karina Escalante, Jorge González, Graciela Viegas, Pedro Chevez, María Victoria Barrios, María Schmukler, Nilsa Sarmiento, Facundo González, Alberto Lalouf. 1a ed. - Salta: Universidad Nacional de Salta. EUNSa, 2017. 262 pág. ISBN 978-987-633-521-8 (versión impresa)- ISBN 978-987-633-523-2 (digital). <http://energiarenovablesociedad.com/publicaciones.php.2017>.

Belmonte, S. et al. "Energías Renovables en Argentina: Visiones y perspectivas de los actores sociales. Hacia un análisis integral de los Sistemas Tecnológicos Sociales, desarrollo productivo y sustentabilidad socio-ambiental". Informe final. Proyecto de Investigación Orientados CONICET-Fundación YPF. 2017.

Energía Renovable y Sociedad. <http://energiarenovableysociedad.com/>. 2017.

Bloomberg New Energy Finance. "Informe CLIMATOSCOPIO 2014". Fondo Multilateral de Inversiones – miembro de Grupo Banco Interamericano de Desarrollo, Department for International Development del Reino Unido, Power Africa.

Flexor, G.; Yoshie Martins Kato, K. y Recalde, M. "El mercado del biodiesel y las políticas públicas: Comparación de los casos argentino y brasileño", Revista CEPAL 108, disponible en <http://www.cepal.org/publicaciones/xml/7/48617/RVE108Flexoretal.pdf>. (Consultado el 21/11/18). 2012.

5. LAS ENERGÍAS RENOVABLES EN SALTA

5.1. Metodología de trabajo

Para la contextualización de la problemática de las ER en Salta se realizaron diversas actividades que pueden ser agrupadas en tres categorías:

A- Análisis de la normativa legal

Se realizó un estudio detallado de la normativa legal vigente en la provincia. Asimismo, se participó de las instancias de diálogo, reflexión, comprensión y difusión de los distintos instrumentos legales.

B- Relevamiento de experiencias en Salta

Esta actividad se realizó complementariamente con el proyecto de investigación orientado y el de investigación plurianual. En un primer momento, se confeccionó una base de datos con ubicación geográfica de todas las experiencias que se tenía conocimiento, así como empresas vinculadas al desarrollo o instalación de tecnologías ER en la provincia. Esta fuente de datos funcionó para realizar un primer análisis cuantitativo y espacial de la distribución de las experiencias, así como para identificar: envergadura, tipo de fuente, proceso tecnológico implementado, alcance territorial y social, actores, tipo de financiamiento y estado de situación. A partir de esta base de datos preliminar se estableció una muestra de casos a relevar en la provincia con el objeto de alcanzar un grado significativo de representatividad tecnológica-territorial.

C- Encuesta general

El objetivo de la encuesta fue relevar el conocimiento de la población de la ciudad de Salta y municipios satélites, acerca de las ER en general y en particular del Plan estratégico y las nuevas Leyes provinciales de Energías Renovables (Ley Nº 7823 de Fomento de las ER y Ley Nº 7824 de Balance Neto), y complementariamente analizar la posibilidad de mejorar la inserción de las ER en el nivel local.

La encuesta se diseñó de manera estructurada y contó con cinco bloques, los cuales fueron introducidos al entrevistado con breves explicaciones en cada uno, en particular los referidos a las leyes. Los ítems abordados fueron:

1. Conocimiento general del Plan de ER y de las leyes. Medios en que se informaron.
2. Conocimiento sobre fuentes de energías renovables y tecnologías existentes. Opinión sobre su posibilidad de fomento en Salta.
3. Promoción de las Energías Renovables en Salta. Aspectos clave para lograr una mayor promoción y principales limitaciones.
4. Aplicabilidad de la Ley de Balance Neto: Interés general. Motivos para impulsar o desestimar una iniciativa en su hogar.
5. Datos generales de los encuestados: Localización, nivel educativo, ocupación, edad, género.

Se realizaron nueve preguntas cerradas y seis abiertas, para que los encuestados pudieran expresar sus opiniones. Para el análisis y sistematización, las respuestas abiertas se agruparon en ejes temáticos, mientras que las preguntas cerradas se retrataron en gráficos de barra o torta.

Para lograr un mayor alcance, la encuesta fue desarrollada en un sistema online (encuestafacil.com) y difundida a través de email y redes sociales, iniciando la difusión a partir del correo electrónico y facebook institucional de INTI Salta y grupo PEyGeT del INENCO. También se trabajó con una base de datos de mail de la comunidad universitaria de la UNSa actualizada hasta 2013 (con un total de 20.000 cuentas aproximadamente). La encuesta estuvo abierta durante un mes (julio-agosto 2015).

B. Contexto legal provincial

En los últimos años, la provincia de Salta se ha preocupado significativamente en el desarrollo de normativas y planes para la promoción e incentivo de fuentes renovables de energía. Los instrumentos legales actuales para el desarrollo de las ER son:

B.1. Plan Provincial de Energías Renovables

Un rasgo importante a destacar del proceso de desarrollo del plan fue su carácter participativo y la valoración de las ER como política pública provincial. Tal es así, que se destaca en la introducción del documento (Secretaría de Energía de la Provincia de Salta, 2014):

"Asimismo, se destaca la participación de instituciones públicas, provinciales y nacionales y el valioso aporte del sector privado, todos compartiendo el objetivo de búsqueda de nuevos horizontes energéticos para fomentar la diversificación de la matriz y la eficiencia energética en la provincia..."

...El Plan Provincial de Energías Renovables representa el compromiso de las políticas públicas que impulsa el Gobierno de la Provincia de Salta para contribuir al desarrollo sostenible con conciencia social. Se busca promocionar la utilización de energías no convencionales para mejorar la competitividad industrial y la calidad de vida de todos los salteños."

El objetivo general del Plan busca fomentar la generación y el uso de las energías renovables, a fin de satisfacer y diversificar los requerimientos energéticos de los habitantes de la provincia. Entre sus objetivos específicos más importantes se plantea:

- Elaborar el marco legal para fomentar las inversiones públicas y privadas que permitan la incorporación de fuentes energéticas limpias.
- Generar una base de datos con la situación actual de la provincia en lo realizado con energías renovables, sistematizando la información existente.
- Fomentar y promover las investigaciones referidas a la producción y usos de energía a partir de fuentes renovables.

- Impulsar y difundir aquellos proyectos de inversión que promuevan la generación y utilización de energías renovables en la provincia y de eficiencia energética en los sectores industriales, residenciales y públicos.
- Incorporar la temática de Energías Renovables y Eficiencia Energética en el ámbito educativo.

B.2. Ley Nº 7823: Régimen de Fomento para las Energías Renovables Salta, con Decreto Nº 192 – Reglamentario de esta Ley.

Esta ley impulsa el aprovechamiento, producción, investigación, desarrollo, procesamiento y uso sustentable de energías renovables, biocombustibles, y otras fuentes de energía limpia que fomenten el ahorro y la eficiencia energética. Para ello, favorece la realización de inversiones en emprendimientos de producción de energía eléctrica o aprovechamientos térmico a partir del uso de fuentes renovables de energía en la provincia. En este sentido, se otorgan diferentes beneficios a las personas físicas y/o jurídicas que fabriquen, apliquen y/o generen tecnologías para el aprovechamiento de ER. Los más importantes son:

- Exención de impuestos provinciales (hasta el 100% en un periodo de hasta 10 años).
- Obtención de créditos fiscales por hasta el 70% del valor correspondiente a la inversión en equipamiento, con 5 años de gracia. A partir del sexto año se comienza a pagar sin intereses.
- Apoyo en las gestiones para la obtención de créditos y asistencia del Estado provincial en aspectos tecnológicos, administrativos y económicos financieros.

B.3. Ley Nº 7824: Balance Neto. Generadores residenciales, industriales y/o productivos, con anexo resolución Nº 448/17.

En el caso de esta legislación salteña, el concepto de ‘Balance Neto’ se refiere a la diferencia de energía eléctrica que un usuario consume de la red y la que genera con fuentes renovables e inyecta en la red. Es el resultado de la compensación entre lo generado y consumido por un usuario.

En este sentido la ley promueve la instalación de tecnologías que aprovechen energías renovables en los domicilios particulares para producir electricidad e inyectarla en la red a través de la compra de la energía generada. La Empresa Distribuidora de Energía de Salta (EDESa) tiene la obligación de comprarla a un precio fijado por el gobierno. Para esto, el usuario que desee acceder a la modalidad de balance neto deberá contar con la instalación y requerimientos técnicos necesarios y la habilitación de un generador supervisada por la empresa distribuidora de energía.

Como medida de promoción, la ley prevé que los dos primeros años el 100% de la energía producida sea comprada por EDESa a tarifa diferencial. A partir del tercer año se realizará el balance neto, es decir la compensación entre el consumo y la generación del usuario. Sólo el excedente se paga a una tarifa diferencial.

B.4. Plan Sol en Casa - aprobado mediante Decreto 1000/2017.

Dicho programa está destinado a financiar la adquisición e instalación de termotanques solares, financiados hasta 48 cuotas. Las cuotas se abonan en forma mensual y consecutiva, a través de la factura de suministro de energía eléctrica, en los lugares habilitados por EDESA S.A. para el pago del servicio.

Un interés creciente de la provincia por insertar las ER, en particular la energía solar, se pone de manifiesto a través de las normativas y los programas generados. No obstante, fuertes barreras se presentan en su implementación, entre ellas: costo elevado de equipamiento, aprobaciones técnicas complejas, falta de mano técnica especializada y aprobada por el gobierno para la instalación de los sistemas, falta de registro de calefones con certificados de calidad y desconocimiento de los incentivos promovidos. Asimismo, una de las limitaciones identificadas se vincula con la falta de información sobre el recurso solar y el potencial de producción energética, aspecto al que particularmente se pretende aportar con esta tesis.

A. Aplicaciones de energías renovables en Salta

Programas nacionales adheridos

Las variadas experiencias de ER desarrolladas en la provincia comprenden desde casos puntuales de instalación domiciliaria hasta la implementación de programas nacionales de amplia distribución como el PERMER⁴. Los programas nacionales a los que adhirió la provincia fueron:

- Proyecto de Energías Renovables en Mercados Rurales (PERMER): el proyecto tuvo un impacto significativo en la provincia, especialmente en comunidades alejadas y carentes de tendido eléctrico, destacándose la importancia para las familias el poseer acceso a energía, aunque limitado. Datos provistos por el encargado del programa a nivel provincial, indican la geolocalización de 5520 instalaciones solares fotovoltaicas en escuelas y viviendas rurales para el año 2015. Sin embargo, se observa falta de coherencia en los datos geográficos como ser: valores nulos, intercambio de coordenadas de latitud por longitud y viceversa, lo que indica inexactitud en este registro. A su vez, se evidenció un bajo número de casos registrados frente a las instalaciones concretadas e informadas por el Ente Regulador de Salta (2017). Por otra parte, actores sociales manifestaron deficiencias en el mantenimiento, falta de monitoreo y seguimiento de equipos ya instalados. Recientemente, el proyecto PERMER impulsó la instalación de calefones solares para uso domiciliario. Sin embargo, aún no se cuentan con registros de avances formales.
- Interconexión a red de energía solar urbana distribuida (IRESUD): En la provincia de Salta investigadores del INENCO, dirigieron la instalación de 12 módulos fotovoltaicos de 240 Wp cada uno (con un total de 2,88 kWp de potencia instalada) en la Escuela de la Magistratura del

⁴ Proyecto de Energías Renovables en Mercados Rurales (<https://permer.minem.gob.ar/>)

Poder Judicial. Es el primer edificio público en poder captar energía solar e inyectarla a la red eléctrica en la provincia.

- Proyecto de Generación Renovable (GENREN): El Ingenio Tabacal, ubicado en Orán (Salta), fue una de las pocas empresas en Argentina en licitar, ganar y efectivamente conectarse al Sistema Argentino de Interconexión (SADI) donde aún se mantiene desde el 2011. La planta de cogeneración eléctrica del ingenio utiliza como fuente renovable la biomasa y opera con una capacidad instalada de 40 MW, de los que 12 MWh son utilizados para abastecer de energía necesaria del ingenio y 28 MWh son aportados al SADI, beneficiando entre otras a las ciudades de Tartagal, Orán, Hipólito Yrigoyen y Pichanal en Salta (Tabacal, 2017).
- RenovAR: En la provincia de Salta se asignaron, tras licitación, tres proyectos de generación eléctrica fotovoltaica: uno en Cafayate de 80 MW, otro en Olacapato y el tercero en San Antonio de los Cobres de 100 MW cada uno (Secretaría de Energía, 2018). Si bien ya se cuenta con la adjudicación y autorización de ingreso al SADI, los parques solares de San Antonio de los Cobres y Olacapato aún no se han iniciado hasta el momento de escritura de esta tesis.

Análisis global de las experiencias

En la provincia, las aplicaciones de energía solar se destacan frente a otras fuentes de ER, con múltiples experiencias en el sector público y privado. El INENCO constituye el principal referente institucional con una trayectoria de casi 40 años en la temática (Belmonte et al., 2016). En relación al sector privado se nota un pico en ascendencia con respecto a los últimos años. Actualmente, las empresas dedicadas a la comercialización de tecnología renovable son aproximadamente 25 y se ubican principalmente en la ciudad de Salta.

La energía solar fotovoltaica tuvo un especial avance en materia legislativa con la sanción y regulación de Ley de Fomento a las ER y Ley de Balance Neto. A su vez, los 280 MW adjudicados en las licitaciones del programa RenovAR (2017) promovieron este auge. Sin embargo, pocos son los proyectos concretados tanto en el plano residencial como la construcción de parques solares. Esto evidenciaría las dificultades inherentes que presentan este tipo de proyectos a pesar de los incentivos económicos impulsados por el gobierno provincial.

El interés por los calefones solares es creciente y numerosas consultas llegan al sector académico y gubernamental para procurar la instalación de equipos en las viviendas particulares y promover planes municipales de desarrollo y fomento de este tipo de tecnología. En la ciudad de Salta, existen emprendimientos locales dedicados a la fabricación e instalación de tecnología de generación de agua caliente, con diseños propios y específicamente adaptados para las condiciones de la región. Sin embargo, son pocos los instaladores registrados y avalados por el gobierno provincial que cumplimentan los requerimientos para participar del nuevo plan de fomento de energía solar. Estos se ubican radicados principalmente en la ciudad de Salta y la zona de Cafayate. De igual manera, ocurre con los proveedores de equipamiento.

Con respecto a generación de electricidad a través de conversión fototérmica mediante la utilización de concentradores de radiación, Salta cuenta con la única experiencia concreta del país. Esta se debe a un concentrador lineal tipo Fresnel (Figura 5.1) desarrollado por investigadores del INENCO y ubicado en la localidad de San Carlos. El equipo de concentración solar lineal está formado por líneas de espejos localizados próximos al suelo y orientados al Norte. Dichos espejos tienen la posibilidad de girar sobre un eje horizontal para seguir al sol todos los días, desde las 9 hasta las 18 hs. Cada espejo se curva levemente así todos los haces solares reflejados se concentran en un punto. Allí se encuentra colocado el absorbedor que consiste en un sistema de caños de acero por donde pasa agua, la cual alcanza altas temperaturas y produce vapor. El vapor es conducido hasta la turbina para generar electricidad o ser aprovechada para procesos industriales. Este proceso es monitoreado por una computadora que controla el movimiento de los motores de los espejos y las válvulas para asegurar así un funcionamiento automático. Actualmente, el proyecto continúa por el momento en una fase experimental y aún no existe generación eléctrica conectada a red. Una de las ventajas que se resalta de este tipo de aprovechamiento de la energía solar es que puede construirse con materiales disponibles en el medio local, aunque no se ha realizado aún una evaluación económica integral.

Figura 5.1 Concentrador Lineal en la localidad de San Carlos.



El secado solar de algunos productos agrícolas es uno de los aprovechamientos de energía solar térmica que mejor se adaptó a las prácticas tradicionales de los productores agrícolas en la provincia. En

particular, el uso de secadores solares significó una mejora en la calidad de productos como el pimiento para su posterior molienda, que tradicionalmente se seca al aire libre bajo el sistema de secado en cancha. En especial, los usuarios de este tipo de sistema destacan que los secaderos redujeron las pérdidas que generaban los problemas climáticos como las lluvias, y mejoró la calidad y sanidad del producto.

El estado provincial impulsó la construcción y utilización de secaderos solares en la zona de los Valles Calchaquies por este motivo. Sin embargo, varios de estos proyectos no tuvieron resultados positivos por diferentes razones (formación de cooperativas de forma forzosa, adjudicación de la construcción a técnicos inexpertos, dificultades logísticas para acceder con la producción hasta la ubicación del secadero). Un caso exitoso de aplicación de esta tecnología se observó con un productor en la zona de San Carlos (Figura 5.2), el cual había experimentado previamente con otras técnicas de secado solar y aportó su experiencia para mejorar el rendimiento del secadero a técnicos e investigadores del INENCO. Esta experiencia demostró la necesidad de organizar el sistema de provisión de materia prima entre el propietario y otros productores locales a los efectos de garantizar su viabilidad económica.

En relación a las cocinas solares (Figura 5.3), se identificaron experiencias de transferencias de cocinas en escuelas con el objeto de mitigar la problemática de falta de leña, especialmente en zonas áridas donde el acceso a redes de gas natural o provisión de gas envasado son limitadas. Sin embargo, fuertes resistencias por cuestiones culturales evitan su adopción. Como experiencia aún vigente se distingue el caso particular de una escuela rural ubicada en la zona del Rosal donde el uso de varias cocinas solares es cotidiano. Se reconoció al director del establecimiento como el motor del fomento y uso de la tecnología, destacando nuevamente la importancia del proceso de adecuación socio-técnica para maximizar las probabilidades de éxito del proyecto.

Figura 5.2 Secadero solar en San Carlos (Don Vargas). **Figura 5.3** Cocina solar en El Rosal (Aldo Palacios).



En la actualidad los edificios consumen más del 30% de la energía de un país, por lo que la mejora de su eficiencia es un tema importante a considerar (Belmonte et al., 2016). En la provincia de Salta, se cuenta con la experiencia ubicada en un barrio de la localidad de Cachi donde el INENCO en conjunto con organismos provinciales destinados a cubrir las demandas habitacionales de la década de 1980, diseñaron y llevaron a

cabo la construcción de viviendas eficientes con principios bioclimáticos. En este caso, se identificaron modificaciones en las viviendas que significaron pérdidas de condiciones eficientes o bioclimáticas recalcando la falta de adecuación socio-técnica o la falta de involucramiento del usuario final en el proceso de diseño y desarrollo. Caso opuesto, es el colegio secundario de Alfarcito donde los usuarios movilizaron el desarrollo del proyecto. En la actualidad, la Secretaría de Energía ha avanzado en la gestión para el trabajo en conjunto con el Instituto Provincial de la Vivienda (IPV) con el objeto de adecuar el diseño de las casas con principios bioclimáticos y eficientes. Sin embargo, ninguna experiencia concreta ha sido relevada hasta el momento.

Un caso histórico de relevancia en Salta fue el desarrollo de pozas solares, sistema térmico que permite coleccionar y almacenar energía solar en forma de calor a temperaturas que llegan a los 90° C. Esta tecnología se usa principalmente para dos objetivos: utilización auxiliar para la purificación de minerales no metálicos y como fuente de energía para diversos usos, tales como: calentamiento de edificios, destilación de agua salobre, producción de energía eléctrica mediante turbinas accionadas con fluidos orgánicos y calentamiento de invernaderos. Este colector solar tiene como características interesantes un muy bajo costo y la de disponer de un sistema propio de acumulación. El INENCO se ha involucrado en su utilización en el año 1976 realizando diversas investigaciones básicas y con transferencias a la industria, destacándose el ámbito de minería. En la Universidad Nacional de Salta se mantuvo un prototipo experimental de poza solar durante un periodo importante de tiempo en la década de los ochenta, sin embargo en años futuros el INENCO priorizó el avance en líneas de investigación distintas a las pozas solares. En la actualidad, este antiguo concentrador vuelve a adquirir importancia en el ámbito minero como recurso de bajo costo económico, útil en el proceso de aislamiento del litio.

Con respecto a las fuentes eólicas, se distinguen muy pocas experiencias en Salta. Los lugares principalmente aptos para el desarrollo de energía eólica de baja potencia son los valles Calchaquíes y la Puna. Sin embargo, en estas zonas predominan los desarrollos de tecnologías solares, mayormente elegidas frente a equipos eólicos. Entre las experiencias situadas vigentes, se distingue el caso de la construcción e instalación de un aerogenerador con banco de baterías e inversor con alimentación a una sala de computación de una escuela en la localidad Isonza. Estudiantes de la carrera de Licenciatura en Energías Renovables tuvieron un papel fundamental en el desarrollo de este proyecto. Actualmente, los mismos estudiantes se encuentran diseñando un curso abierto para la construcción de aerogeneradores de baja potencia.

El desarrollo de aplicaciones de energía de biomasa alcanza su auge en el ingenio Tabacal, el cual se encuentra actualmente y desde el año 2011, inyectando electricidad a la red. Sin embargo, las experiencias concretas de esta fuente renovable son muy escasas. Se distinguen proyectos en fase experimental situados en el Valle de Lerma con fines de investigación, pequeñas experiencias de aplicación en el sector privado vinculadas a la generación de biogás a partir de residuos productivos y proyecciones basadas en el potencial de aprovechamiento energético de Residuos Sólidos Urbanos (RSU).

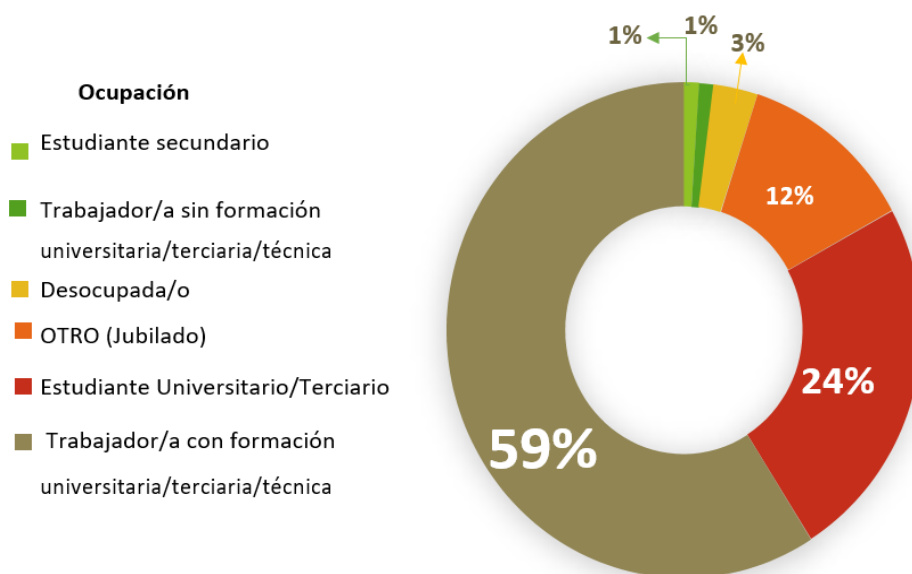
C. Encuesta “Energías Renovables en Salta”

La encuesta ‘Energías Renovables en Salta’ se realizó en el marco de la presente tesis de doctorado y diversos proyectos de investigación relacionados a la temática Planificación Energética de Energías Renovables (ER) llevados a cabo por el grupo de investigación PEyGeT - INENCO - e INTI Salta. Esta encuesta se realizó con el objeto de relevar el conocimiento de la población en general con respecto a las leyes actuales de ER de Salta, explorar el escenario actual e identificar el potencial de aplicación de tecnologías renovables en la provincia.

C.1. Perfil de encuestados

El rango de edad de los encuestados varió desde los 15 a los 75 años. El 66% tiene entre 15 y 44 años, el 33% entre 45 y 74 años y el 1% restante son mayores de 75. El total de entrevistados fueron 159 de una base de datos de 2600 personas, alcanzando un porcentaje de respuestas del 6%. Del total de entrevistas el 55% son hombres y el 45% restante son mujeres. En la Figura 5.4. se puede observar la ocupación y formación de los entrevistados, mediante un gráfico de tortas y su correspondiente referencia. El sector mayoritario corresponde a profesionales independientes y del área de investigación.

Figura 5.4 Población encuestada caracterizada por ocupación.



C.2. Conocimiento sobre el Plan de Energías Renovables y las Leyes provinciales N° 7823 y N° 7824

Se realizaron preguntas concretas, para averiguar el conocimiento de las reglamentaciones provinciales con respecto a las ER y el medio a través del cual se informó (Figura 5.5 y Figura 5.6). La respuesta que primó fue mayoritariamente el “No”. En el caso de las personas que, si conocían las reglamentaciones, fue principalmente debido a Internet, comunicación personal e información institucional.

Figura 5.5 Grado de conocimiento de la normativa de ER en Salta.

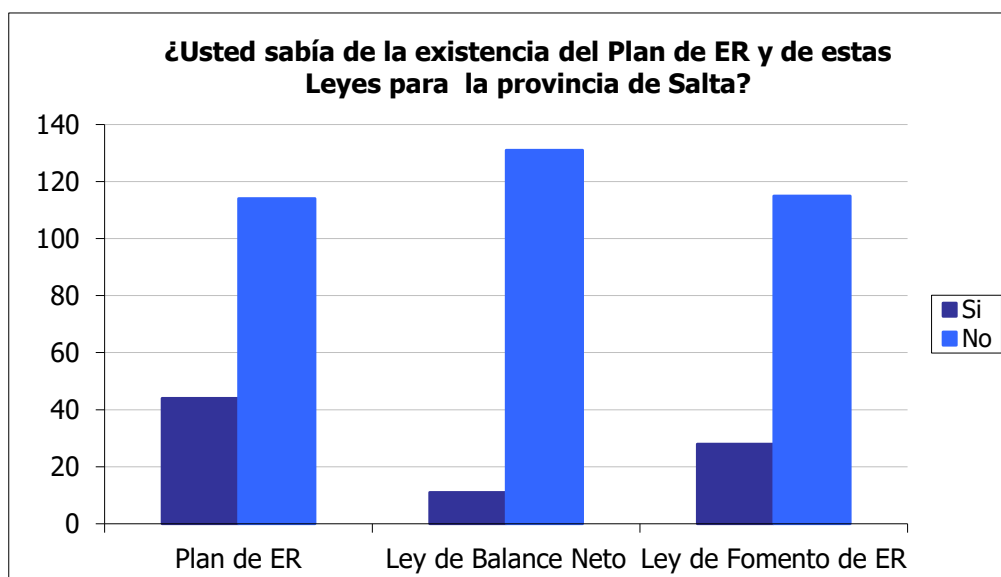
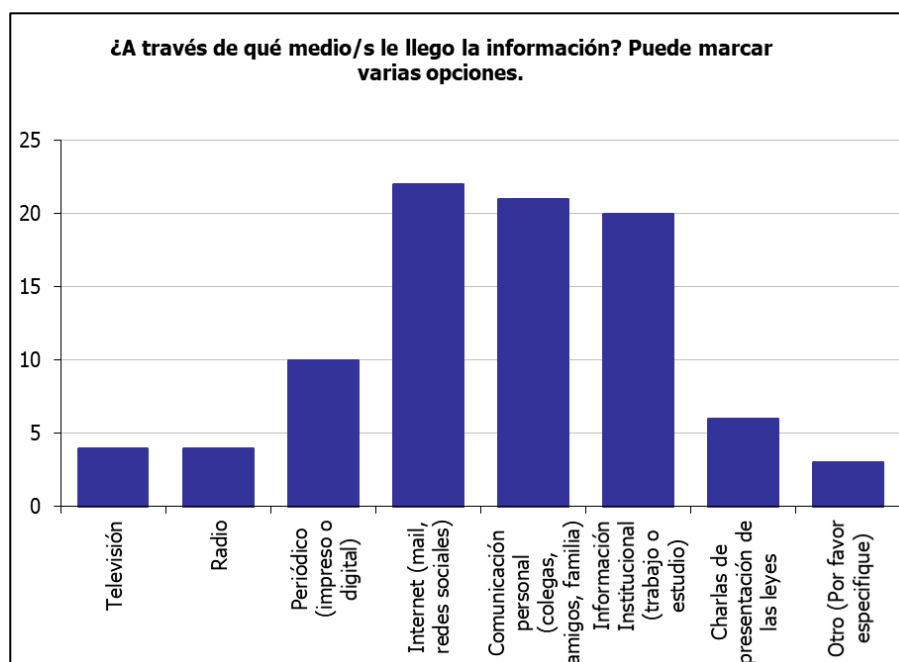


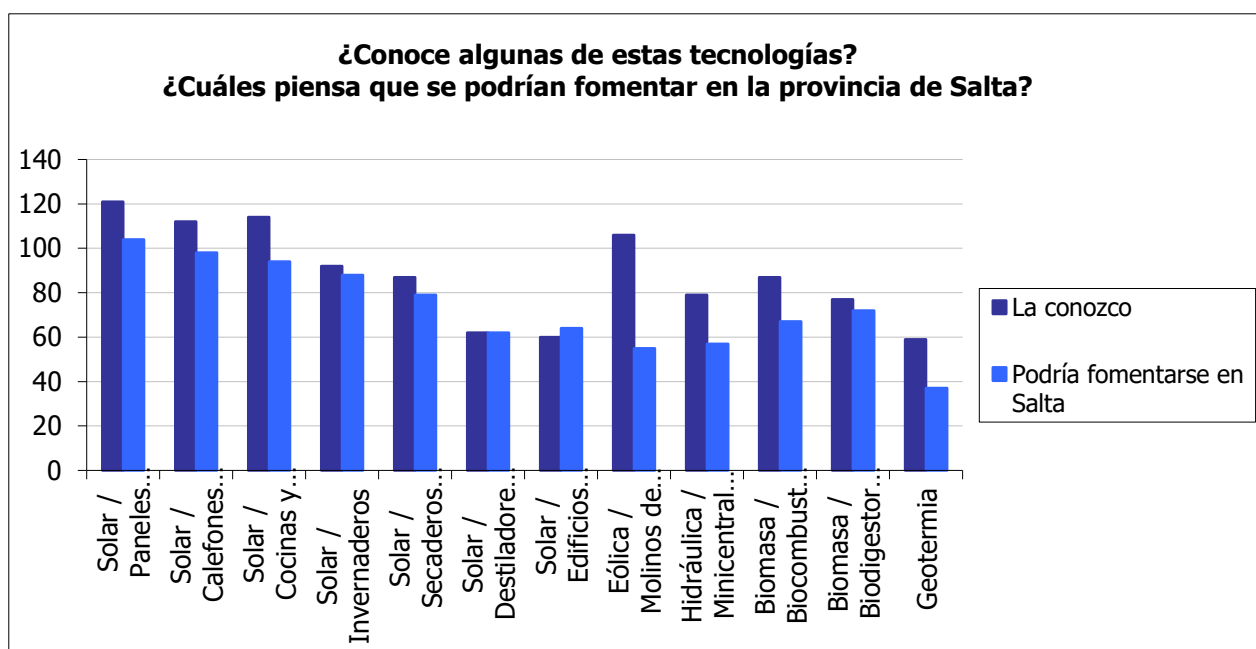
Figura 5.6 Medios por los cuales se conoce la reglamentación de ER en Salta.



C.3. Conocimiento sobre fuentes de ER y tecnologías renovables

Las tecnologías renovables que se encuentran entre las más conocidas son: paneles fotovoltaicos, calefones solares, cocinas solares y molinos de vientos (Figura 5.7). Esto se asocia directamente con la pregunta '¿Considera que sería importante impulsar este tipo de energías en la provincia?', en la que el 93% de 134 respuestas recogidas eligió la opción "Sí" y el resto "No sabe/no contesta".

Figura 5.7 Conocimiento de las tecnologías renovables y preferencias para su fomento.



Cuando se indagó sobre el por qué considera importante fomentar este tipo de energías, se distinguieron las siguientes ideas principales:

- Cuidado del medio ambiente y sustentabilidad de las ER como energías limpias.
- Mitigación del cambio climático.
- Diversificación de la matriz energética.
- Independencia de los combustibles fósiles y de la importación de recursos energéticos.
- Desarrollo tecnológico y regional.
- Aprovechamiento de los recursos naturales locales.
- Acceso a energía en lugares aislados.
- Mejora de la calidad de vida.

C.4. Promoción de las ER en Salta

Aspectos claves para la difusión de ER en Salta

En la pregunta abierta: “¿Qué aspectos considera clave para lograr una mayor promoción de las ER en Salta? Indique los 3 más importantes”, se agruparon las ideas por ejes y se las ordenaron de acuerdo a su importancia. Al lado de cada agrupamiento, se señala el porcentaje de respuesta para cada eje temático.

- 1. Difusión y concientización (94%):** Refieren a divulgación, difusión masiva, concientización, acceso a información, promoción sobre nuevas fuentes de energía, de las leyes de ER, de tecnologías disponibles, sus características y beneficios sociales como así también ambientales y económicos, a través de los medios masivos (TV, Radio, Medios gráficos, Internet), de redes sociales, talleres, seminarios, charlas como así también la inclusión de la temática en educación formal desde los niveles iniciales.

2. **Incentivos económicos (52%):** Incluye subsidios, créditos, exención de impuestos, financiamiento y reducción de los costos de las tecnologías de ER.
3. **Políticas de promoción (general) (49%):** Involucra el fortalecimiento de políticas estatales (interés, reconocimiento del tema, ética, compromiso real), la implementación y fomento más eficaz de los programas, decisiones y presupuestos asignados a tal fin a través de nuevos proyectos públicos que incluyan ER (en escuelas rurales, en industrias, programas piloto, campañas en los municipios) e incentivos a la inversión privada (con herramientas claras y confiables). Se plantea esto acompañado de un marco legal-regulatorio favorable, que permita el control y fomente la eficiencia energética, e incluya la comunicación/difusión de los resultados en la implementación.
4. **Educación, investigación y desarrollo de tecnología (36%):** Se destaca la necesidad de educación en todos los ámbitos y niveles sobre el uso y funcionamiento de ER, como así también mayor capacitación a técnicos y profesionales que contribuya a la disponibilidad de mano de obra especializada. Se propone un nuevo impulso del desarrollo tecnológico, en un trabajo conjunto Universidad-Medio. Es necesaria una apertura de las ER a otras disciplinas, las cuales pueden colaborar en el objetivo de difusión y análisis de impacto social (antropología, economistas, etc.).
5. **Apoyo en la gestión (17%):** Propone la asistencia del Estado provincial en aspectos tecnológicos, administrativos y económicos financieros, por ejemplo, ayuda en la importación de tecnología y materiales.
6. **Tecnología confiable y accesible (14%):** Refiere a la accesibilidad y confiabilidad técnica de las tecnologías de ER. Se propone construir una cadena de comercialización que promueva la producción local.
7. **Valoración de beneficios socio-ambientales (13%):** Se explicita que las ER tienen un menor impacto en el ambiente porque son menos contaminantes. Por otro lado, permiten el autoabastecimiento y promueven las independencias energéticas, como así también la inclusión de las comunidades aisladas. Los desarrollos de las ER pueden generar nuevas fuentes de trabajo.

Principales limitantes para la difusión de las ER en Salta

Entre los limitantes claves recogidos de la encuesta se destacaron:

1. **Falta de conocimiento (56%):** Hay una desinformación en la población en general sobre la temática como consecuencia de la nula difusión de la misma. Por otro lado, no hay una conciencia social sobre el tema energético.
2. **Costos de inversión (45%):** Alta inversión inicial por costos elevados, falta de recursos, desconocimiento de la rentabilidad y tiempos de recuperación de la inversión.

3. **Voluntad política (30%):** Falta de apoyo institucional, compromiso del Estado, decisión política e iniciativa, limitada articulación pública y privada y las limitaciones en la reglamentación para la aplicación de la ley.
4. **Conflictos de intereses (19%):** Entre diversos sectores: empresas, partidarios políticos, posturas extremas ambientalistas, hermetismo disciplinario, medios de difusión, funcionarios públicos, intereses personales, comunidades, corporaciones, etc.
5. **Capacitación y educación (19%):** Falta de formación académica, formación técnica, lenguaje sencillo en la comunicación, mecanismos de aprendizaje, de proyectos científicos motivadores e intercambios.
6. **Cultura y Contexto (19%):** La implementación de una nueva tecnología implica un cambio cultural que contrasta con el aspecto conservador de la población salteña y el miedo a lo nuevo. Por otro lado, la existencia de preconceptos acerca de la tecnología y la corrupción generan desconfianza.
7. **Disponibilidad tecnológica (18%):** En el ámbito local y falta de proveedores.
8. **Fallas en los procesos de transferencia y seguimiento (15%):** No hay una conexión investigación-realidad.; se trabaja con base en demandas no definidas. No existen herramientas para tomar decisiones de inversión y para el seguimiento y control de las mismas. Hay poca visibilidad de experiencias exitosas.
9. **Desinterés en diversos ámbitos (15%):** Población en general, gobiernos, inversores, medios de comunicación.
10. **Costos subsidiados actuales de la energía (9%):** en particular eléctrica y del gas. Esto se asocia a la no regulación del consumo.

C.5. Aplicabilidad de la Ley de Balance Neto en los hogares.

En el último bloque se profundizó en la percepción de los entrevistados con respecto a la ley de Balance Neto en los hogares. Se realizaron dos preguntas abiertas, que nuevamente fueron agrupadas por categoría y una pregunta cerrada para medir cuantitativamente el interés con respecto a realizar una instalación en su hogar.

A continuación, se reúnen las respuestas de la pregunta: *“Si a usted le plantean la posibilidad de instalar paneles solares fotovoltaicos u otro sistema de ER en su casa, para producir energía eléctrica y conectarla a la red: ¿Qué razones lo motivarían a aceptar la propuesta?”*. Razones y motivaciones:

1. **Económicas (70%):** Disminución de los gastos en energía eléctrica (ahorro de dinero) junto a la reducción en los costos de equipamiento, instalación y mantenimiento. Obtención de una ganancia o por lo menos una compensación de la inversión por el excedente de energía generada e inyectada a la red. Obtención de beneficios (ingresos y ahorro) a largo plazo.
2. **Ambiente y sustentabilidad (52%):** Se consideran las ER como “amigables” con el medio ambiente (fuentes sustentables), ya que los impactos de contaminación y generación de gases efecto

invernadero producidos por su implementación son casi nulos. Esto favorece a la ecología del planeta. También se consideró el aprovechamiento del espacio urbanizado para la localización de paneles solares y como alternativa para disminuir la contaminación visual del tendido aéreo de la ciudad de Salta.

3. **Fomento de Energías renovables y ahorro energético (41%):** Focaliza en la contribución a la generación de energía limpia. Su implementación permite ahorrar energía de fuentes convencionales (reducción en el consumo de gas), contribuyendo a su conservación. Por otro lado, se consideró la difusión de las ER a través del efecto que puede tener su implementación generando interés en vecinos. En este punto también se destacó la necesidad de cuidar la energía.
4. **Aspectos técnicos (18%):** La seguridad de la instalación y del servicio fueron las razones más mencionadas. También se tuvo en cuenta la estabilidad eléctrica, disponibilidad de energía en hora pico y el rendimiento (que sea similar o mejor al actual). Se analizó la ventaja de un sistema de muchos generadores pequeños que si se produce la caída de uno no afectaría la funcionalidad del sistema completo. Se destacó el asesoramiento técnico permanente como motivación.
5. **Autoabastecimiento y producción de energía (18%):** El autoabastecimiento, la generación propia de energía que permita la autonomía/ independencia energética de la red y de las grandes industrias fue otro aspecto que se consideró, como así también la producción de energía y la contribución a mejorar la problemática de déficit energético.
6. **Otros (27%):** En este ítem se agrupan el resto de las respuestas referidas a diferentes reflexiones. Se mencionaron: créditos flexibles a largo plazo para la obtención de equipamiento; beneficios sociales y de colaboración comunitaria para un bien común donde todos ganan; generación de cambios e innovación; moda de la temática y de la tecnología. Una sola respuesta refirió que en el contexto actual no existe ninguna razón que motive a aplicar ER.

Razones que harían desestimar la implementación de ER en los hogares

1. **Técnicas y tecnológicas (78%):** Limitaciones en cuanto a la cantidad de energía, eficiencia, seguridad, desconfianza en la tecnología, fallas de los sistemas, inestabilidad, problemas de mantenimiento, carencia de servicio técnico para la instalación y mantenimiento, disponibilidad de repuestos (materiales importados) y durabilidad de los equipos. Se consideraron también las limitaciones en el espacio, necesidad de realizar adecuaciones edilicias, cuestiones estéticas, destrucción del equipo por inclemencias climáticas e incluso los días nublados que no se produce energía.
2. **Económicas (65%):** Principalmente por los altos costos de inversión en la instalación y en el mantenimiento y por los largos plazos de amortización y recuperación de la inversión.
3. **Discontinuidad de políticas y desconfianza en el gobierno (21%):** La discontinuidad en el proyecto político del gobierno de turno, reglas de juego cambiantes, que no se cumpla con lo pactado

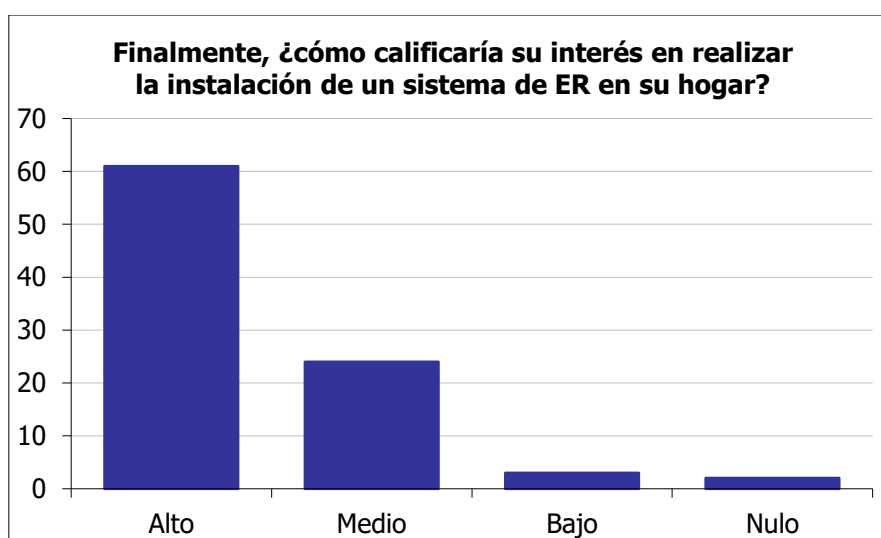
económicamente, beneficiarios ya definidos, proyecto con enfoque empresarial no social/ambiental, la falta de transparencia y la falta de garantías respecto de la aplicación de la ley son algunas de las razones que llevarían a desestimar la posibilidad de implementar ER. Por otro lado, se manifestó desconfianza en la empresa distribuidora de energía que compraría la energía generada.

4. **Otros (22%):** En este ítem se agrupan las respuestas referidas a diferentes aspectos: burocracia en la gestión del proyecto, falta de fomento al autoabastecimiento, desconfianza de los efectos en la salud (contaminación de baterías, por ejemplo), falta de conocimiento en general y sobre el costo real de la energía y la energía real producida por un panel instalado.
5. **Ninguna (9%):** Finalmente es válido resaltar en un ítem particular que el 9 % de los encuestados cree que no existe ninguna razón para no implementar ER en su hogar.

Interés en implementar ER en los hogares

Cuando se indagó sobre el interés por la instalación de ER en el domicilio particular de los interesados, se distingue con amplia mayoría las respuestas positivas. En especial con un grado de alta motivación por realizar el establecimiento (Figura 5.8).

Figura 5.8 Resultado sobre interés en la realización de sistemas de ER en los hogares.



5.2 Reflexiones del capítulo

En este capítulo se contextualizó el proyecto de investigación a nivel provincial y se describió la problemática de ER. Se puede destacar que Salta tiene una amplia trayectoria en experiencias y desarrollo de tecnologías solares. Asimismo, se destaca el fomento actual de este recurso renovable a partir de materia legislativa local.

Para el estudio del contexto provincial se realizaron diversas actividades. En primer lugar, se realizó un estudio preliminar de experiencias renovables y luego visitas en campo a los casos. El análisis fue enriquecido con opiniones de diversos investigadores y colaboradores de los proyectos. A partir de este análisis y del estudio del marco regulatorio provincial, se pudo reflexionar sobre:

- Importancia de que los usuarios finales formen parte de todo el desarrollo del proyecto, desde el diseño del mismo hasta su implementación.
- Preferencias en general de tecnologías solares (especialmente calefones y fotovoltaico) por sobre otras, al adecuarse mejor a los hábitos, expectativas, costumbres e intereses de los actores beneficiados.
- Incentivos promovidos por el sector gubernamental principalmente para el sector urbano, con baja inclusión de las zonas rurales y semi-rurales aislados.
- Limitantes en herramientas que apoyen el proceso de toma de decisión de interesados en instalar tecnología renovable.

Por otro lado, la encuesta permitió conocer la visión de la población en general en relación a las leyes de ER de Salta, explorar su potencial aplicación en el escenario actual e identificar aspectos claves (potencialidades y barreras) para el fomento de las ER en Salta. Entre los resultados más notorios se puede señalar el gran interés de la población por las ER, aunque no conozcan en detalle el Plan y las nuevas Leyes. A su vez, los aspectos más destacables de la contribución de las ER se posicionan en el cuidado del medio ambiente, el cubrimiento de la demanda de energía y un posible ahorro económico al sustituir energía convencional.

La metodología empleada para la aproximación a la problemática en el área de estudio resultó satisfactoria al presentar beneficios tales como: diálogo con sectores diversos involucrados a las ER, incorporación de múltiples visiones sobre la temática, empleo de herramientas cualitativas y cuantitativas que permiten explicar la situación actual y los desencadenantes de la misma.

5.3 Referencias del capítulo

- Belmonte S., Escalante K. y J. Franco (2012) “Aplicación de metodologías cuali-cuantitativas para el análisis de factores condicionantes en procesos de adecuación socio-técnica de energías renovables.”, Revista AVERMA (Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente), Vol. 16: 12.35 - 12.43.
- Belmonte S.; Garrido S.; Escalante K.; Barros M.V.; Mitchell J. (2014) “Reflexiones y propuestas para mejorar procesos de adecuación socio-técnica y políticas públicas de energías renovables. Talleres participativos ASADES 2012-2013.” Revista AVERMA (Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente). Vol. 18: 12.01-12.08. ISSN 2314-1433.
- Belmonte, S. Ibarra, M. y J. Franco (2011) “Oportunidades y desafíos para la inserción de la energía solar en Salta”, Revista AVERMA (Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente), Vol. 15: 12.25 - 12.32. ISSN 0329-5184
- Belmonte, S.; Caso, R.; Balderrama, B.; Flores Larse, S. (2016) “Instituto de Investigaciones en Energía No Convencional. Ciencia y tecnología para un futuro sustentable”.

- Belmonte, S.; Franco, J.; Viramonte, V. y Nuñez, V. (2009) "Integración de las Energías Renovables en procesos de Ordenamiento Territorial", Revista AVERMA (Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente), Vol. 13, ISSN 03 29-5184.
- Bertoni, Reto (2011): Energía y desarrollo: la restricción energética en Uruguay como problema (1882-2000), UR-UCUR-CSIC, Montevideo, ISBN 978-9974-0-0838-0.
- Cadena, C.; Javi V.; Caso, R.; Fernández, C.; Quiroga, M.; Lesino, G. y Saravia, L. (2003) "La Cocción Comunal de Alimentos con Energía Solar: Aspectos de la Transferencia de Equipos", Revista AVERMA (Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente), Vol. 7, pp. 10.07 – 10.08.
- Calzada, J. y Rossi, G. (2014) "La producción de bioetanol en base a maíz supera a la de Caña de azúcar en Argentina," Informativo Semanal, Bolsa de Comercio de Rosario, año XXXII, N° 1677, pp. 6-8.
- Escalante K., Belmonte S. y M.D. Gea (2013) "Determining factors in process of socio-technical adequacy of renewable energy in Andean Communities of Salta, Argentina". Renewable and Sustainable Energy Reviews 22, pp. 275–288.
- Escalante K.; Belmonte S.; Gea M.; Altamirano M.; Suligoy H. (2011) "Proceso de transferencia de calefones solares en Cabrerías. Percepciones de los actores sociales". XXXIV Reunión de Trabajo de la Asociación Argentina de Energías Renovables y Ambiente (ASADES) 2011. Comunicación. Publicación en CD. V15 (2011): 12.09 - 12.16.
- Escalante, K.; Belmonte, S. y N. Sarmiento. "Encuesta Energías Renovables en Salta 2015". Cartilla de difusión de resultados. INTI - INENCO. 20 pág. Formato digital. http://www.inti.gob.ar/salta/pdf/informesEnergiaSolar/EncuestaERSalta_2015.pdf. 2015.
- Javi, V. y Cadena, C. (2001) "La transferencia de cocinas solares en América Latina: ¿utopía o realidad?", Revista AVERMA (Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente), Vol. 5, ISSN 03 29-5184.
- Javi, V. y Cadena, C. (2005) "La tecnología apropiada como concepto transversal y eje de una transferencia exitosa de cocinas solares". Revista AVERMA (Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente), Vol. 17, ISSN 03 29-5184.
- Proyecto de energías renovables en mercados rurales (PERMER). <http://www.entereguladorsalta.gov.ar> (accedido el 28/11/2018).
- Recalde, M. y Guzowski, C. (2016) "Política energética y desarrollo socioeconómico: una aplicación al caso argentino", en Guzowski, C. (Comp.): Políticas de promoción de las Energías Renovables, Bahía Blanca, EDIUNS.
- Recalde, M., Bouille, D. y Girardin, L. (2015) "Limitaciones para el desarrollo de energías renovables en Argentina". Revista Problemas del Desarrollo, 183 (46), octubre-diciembre.
- Secretaría de Energía de la provincia de Salta. <http://energia.salta.gob.ar/>.(accedido el 28/11/2018). 2016.
- Tabacal. <https://www.tabacal.com.ar> (accedido el 28/11/2018). 2016.

6. VINCULACIÓN INTERACTORAL

6.1 Metodología de trabajo

La vinculación interactoral fue una dinámica rectora durante todo el proceso de investigación. Las actividades se vincularon a diversos grupos de actores según lo descrito en el proceso metodológico general (ítem 3.3) : enlaces con otros grupos de investigación a nivel nacional e internacional, espacios colaborativos en el ámbito local, acuerdos y convenios con el sector gubernamental y enlaces con el sector privado. En este capítulo se desarrollan en detalle particularmente la metodología y resultados de los talleres participativos y el trabajo con el sector privado. Los restantes medios de vinculación interactoral son descritos con mayor profundidad en otros apartados de la tesis: vinculación con otros grupos de investigación (capítulos 4 y 5) y trabajo conjunto con Secretaría de Energía de Salta (capítulo 8).

A. Espacios Colaborativos en el ámbito local:

Se desarrollaron diversos talleres participativos invitando a grupos de actores estratégicos involucrados con la gestión energética. Los talleres organizados por el grupo de trabajo siguieron las siguientes etapas:

1. Etapa de Convocatoria: se seleccionaba el grupo de interés de acuerdo al tema a tratar. En algunos casos la convocatoria fue abierta y ampliamente difundida por diversos medios (UNSa, INENCO, Gobierno de la Provincia); en otros casos las convocatorias fueron cerradas y limitadas a un grupo de actores estratégicos para el tratamiento de la temática en cuestión (invitaciones Fig.6.1 Asimismo, se planificaban las herramientas metodológicas óptimas para la gestión del tiempo.

Figura 6.1 Invitaciones a talleres participativos.



2. Desarrollo de la reunión en sí misma (Figura 6.2): Por lo general, las reuniones iniciaban con una apertura a cargo de los referentes del tema a tratar y se continuaba con breves ponencias de diversos actores las cuales servían como disparadores para la realización de un trabajo grupal. Finalmente, las reflexiones grupales se presentaban en plenaria con el objeto de establecer acuerdos colectivos. En todo momento, se registraban las actividades en forma escrita, fotográfica, video y grabación.

3. Sistematización y difusión de resultados: En los días posteriores a la reunión, se sistematizaban los resultados en formato virtual y se los ponía a disposición a través de servidores de acceso público (Dropbox) o lista de mails entre los participantes de la reunión.

Dos reuniones participativas fueron realizadas particularmente en el marco de esta tesis (Figura 6.2). La Tabla 6.1 presenta los detalles de ambos talleres.

Figura 6.2 Talleres participativos realizados en el ámbito local.



Arriba: Workshop Información de Base para modelos energéticos con SIG – Centro Cultural América, Salta. 2014

Abajo: Aportes al fomento de las energías renovables en Salta: acciones, proyectos y propuestas – Museo de Bellas artes, Salta. 2015

Tabla 6.1 Tabla resumen de talleres participativos.

Nombre del taller	Fecha y lugar	Asistentes	Objetivos	Actividades	Resultados	Comunicación de Resultados
Información de Base para modelos energéticos con SIG	Viernes 22 de Agosto de 2014. Centro Cultural América, ciudad de Salta.	IPAF, Aguas del Norte, INTA, INTI, Secretaria de Energía, Secretaria de Ciencia y Tecnología, Dirección de Estadística, Dirección General de Recursos Energéticos y Mineros, IRNED – UNSa, INENCO. Total: 23 personas.	Identificar las variables relevantes para el análisis energético con Sistemas de Información Geográfica. Determinar los condicionantes en el acceso a la información de base. Proponer estrategias viables para mejorar los procesos de recolección y sistematización de datos.	Presentación del evento. Introducción de la temática mediante exposición de casos. Dos trabajos grupales e interdisciplinarios interinstitucionales. Plenaria y reflexión conjunta de las actividades realizadas.	Listado de capas de información identificadas como necesarias y factibles de conseguir a los fines de armar un SIG energético de la provincia. Problemas y limitantes identificados en el acceso a la información. Propuestas para resolver el faltante de información. Estrategia de actuación acordada para la recolección y sistematización de información.	Documento digital síntesis puestos a disposición para las instituciones participantes del Workshop mediante lista de correo electrónico.
Aportes al fomento de las energías renovables en Salta: acciones, proyectos y propuestas	Viernes 25 de Septiembre de 2015. Museo de Bellas Artes, ciudad de Salta.	INENCO-UNSa, Fundación Somos Parte, INTI, Sec. de Energía, COPROTAB, Empresa BIOSOLAR, Alliance One Argentina, Alternativa Solar, EDESa, Cámara Regional de la Producción, Estudio Dk, Empresa RIJK ZWAAN, Fundación Nahuel, Ministerio de Educación, INIQUI-unas, UCASa. Total: 47 personas.	Reflexionar sobre la implementación de acciones de fomento a las energías renovables en la provincia y en la experiencia de Alemania. Aportar recomendaciones para promover las energías renovables en el contexto local.	Presentación de la reunión. Mesa panel sobre el escenario actual de fomento a las ER. Trabajo grupal para analizar: a- Potencialidades y limitaciones en el contexto actual y local para el fomento de las energías renovables. b- proponer acciones para promover una mayor aplicación de las energías renovables en Salta.	Potencialidades y limitaciones identificadas como prioritarias en el trabajo de reflexión y diálogo. Acciones identificadas como prioritarias en el trabajo grupal.	Carpeta digital con documento de resultados sistematizados, las presentaciones realizadas durante la mesa panel y listado de asistentes. La misma fue enviada por lista de correo electrónico y puesta a disposición de manera libre en un repositorio virtual (Dropbox).

B. Enlace con el sector privado:

La vinculación con el sector productivo se dio en muchas ocasiones de manera informal, durante relevamientos de experiencias, talleres, asistencia a cursos, entre otras actividades. Sin embargo, con la empresa local INTI-AR se logró formalizar las acciones colaborativas en un proyecto de investigación. El proyecto se concentró en mejorar: a) Dificultades organizacionales internas en cuanto a definición de roles y formalización de tareas administrativas, de difusión y gestión; b) Capacidad de respuesta ante el fuerte crecimiento de la demanda de equipos solares e instaladores en el ámbito local; c) Falta de equipamiento indispensable para cubrir el ciclo completo de producción local y mejorar la calidad de terminación de los principales productos comercializados (calefones y destiladores solares); d) Equipo informático y software que faciliten el desarrollo de presupuestos, facturación, stock de insumos y productos, etc.; e) Inexistencia de estrategias de marketing y difusión (posicionamiento en el mercado) de la micro-empresa.

Particularmente, se trabajó de manera específica en el desarrollo de un software de gestión contable con actualización de stock, específico para las tecnologías renovables que fabrica la empresa. Si bien esta vinculación es un caso puntual, se la incluyó en la presente tesis por su fuerte antecedente como desarrollo de herramienta informática de apoyo en el seguimiento de toma de decisiones de actores pertenecientes al sector productivo.

El equipo de desarrollo de software estuvo conformado por la tesista quien cumplió un rol de analista diseñadora y una analista programadora. La aplicación web fue desarrollada bajo una metodología ágil de desarrollo, donde se tuvo contacto permanente con usuarios finales (dueños de la empresa). Reuniones quincenales fueron llevadas a cabo para medir el grado de avance, testeo de las funcionalidades implementadas, los requerimientos próximos del sistema y el diseño del mismo. Se utilizaron los lenguajes de programación: PHP, HTMLv5 y se usó MySQL como motor de base de datos. Para garantizar la accesibilidad remota del programa, se contrató un servidor web y se alojó la aplicación bajo un dominio comprado.

6.2 Prioridades identificadas y estrategias de actuación

Las acciones realizadas movilizaron el contacto con las instituciones locales, población en general y otros grupos de investigación que trabajan en el tema. En forma general, se destacó un fuerte interés en las diferentes convocatorias y un expreso compromiso desde las instituciones y las personas por sumarse en trabajos integradores y colaborativos.

Los cruces de los resultados obtenidos en las diferentes instancias del proceso colaborativo demuestran una fuerte cohesión interna en cuanto al pensamiento de los diferentes grupos de actores locales y evidencia un conjunto de aspectos clave (positivos y negativos) que deben tenerse en cuenta para el fomento de las ER en Salta. Estos refieren principalmente al conocimiento del marco legal-regulatorio, el acceso a la información, la valoración de las fuentes renovables y tecnologías disponibles, la articulación entre actores y la rentabilidad económica.

Las construcciones realizadas en cada uno de los encuentros y actividades se integran como un resultado conjunto del proceso de colaboración interactoral. Entre los aspectos clave, lograron identificarse factores comunes que favorecen (oportunidades) y que limitan (dificultades) la promoción de las ER en Salta (Tabla 6.2).

Tabla 6.2 Oportunidades y limitantes para el fomento de energías renovables en el ámbito local

Aspectos clave	Oportunidades	Limitantes - Dificultades
Acceso a la información	<p>Voluntad de diversas instituciones de la provincia para colaborar en la generación y gestión de información para la planificación en energías renovables.</p> <p>Reconocimiento de la necesidad e importancia de un sistema integrado, actualizado y accesible.</p> <p>Existencia de información de interés, fortalecimiento institucional y trabajos de relevamiento en diversos organismos.</p>	<p>Condiciones actuales de dispersión, duplicidad, fragmentación, inaccesibilidad y vacíos de información.</p> <p>Problemas de georreferenciación, escala, continuidad espacial y temporal, precisión y confiabilidad de las fuentes de información y datos disponibles.</p> <p>Recelos y restricciones de acceso a los datos por falta de una estrategia de trabajo integral y vinculación interinstitucional.</p> <p>Esfuerzos superpuestos en la generación de información primaria.</p>
Marco regulatorio de ER	<p>Existencia de un plan provincial de fomento a las energías renovables.</p> <p>Contexto claro de la situación actual a partir de la promulgación y reglamentación de las leyes a nivel provincial. Buen punto de partida.</p> <p>Fuerte interés de la población en realizar la instalación de un sistema de energías renovables en su hogar (referencia a ley de Balance Neto).</p>	<p>Escaso conocimiento del plan y de las leyes provinciales por la población en general.</p>
Recursos energéticos renovables y tecnologías disponibles	<p>Potencial alto de recursos renovables (particularmente solar y biomasa)</p> <p>Disponibilidad de tecnologías solares probadas y confiables.</p> <p>Coincidencia respecto a la necesidad de impulsar este tipo de energías alternativas por razones ambientales (cuidado del medio ambiente, mitigación del cambio climático, aprovechamiento de recursos naturales locales) y socio-económicas (diversificación de la matriz e independencia energética, desarrollo regional, democratización de la energía).</p>	<p>Desconocimiento por parte de la población y de los ámbitos de decisión.</p> <p>Desconocimiento del potencial solar.</p> <p>Dudas en relación a aspectos técnicos de los equipos: cantidad y disponibilidad de energía producida, eficiencia, estabilidad, seguridad, servicios técnicos para la instalación y mantenimiento, disponibilidad de repuestos, durabilidad.</p>
Actores sociales	<p>Múltiples actores vinculados y con potencial de interacción.</p> <p>Existencia de capacidades tecnológicas locales (investigación y desarrollo)</p>	<p>Discontinuidad de políticas y desconfianza en el gobierno.</p> <p>Conflictos de intereses (voluntad política, empresas, políticos, ambientalistas, beneficios personales).</p> <p>Falta de trabajo inter-empresarial, personas capacitadas para asesoramiento y proveedores locales.</p> <p>Prejuicios y aspectos culturales.</p>
Rentabilidad económica	<p>Disminución de los gastos en energía eléctrica y térmica.</p> <p>Posibilidad de acceder a un ingreso por el excedente de energía generada e inyectada a la red para tener ganancia o compensar la inversión</p> <p>Valoración de externalidades sociales y ambientales.</p>	<p>Costo subsidiado actual de la energía.</p> <p>Altos costos de inversión.</p> <p>Falta de incentivos económicos (especialmente para instalaciones en domicilios particulares).</p> <p>Largos plazos de amortización y recuperación de la inversión.</p>

A partir de las oportunidades y dificultades identificadas, se acordaron una serie de acciones que se categorizan en:

Estrategia general: A partir de las experiencias realizadas surgieron diversas propuestas y desafíos para el fomento de las energías renovables a nivel local. Si bien se plantearon con diferentes enfoques y alcances, se coincidió en destacar tres ámbitos de actuación: el político -poder de decisión- que debe ser resuelto prioritariamente, para luego avanzar en los niveles técnicos y operativos. Si bien, la estrategia general fue planteada explícitamente en el Workshop 1, la misma fue confirmada y validada en los diferentes espacios participativos (Workshop 2 y espacios de charla informal).

La temática energética tiene un fuerte contenido político por lo que se planteó como fundamental la participación del nivel dirigencial, el diálogo entre las instituciones y que cada organización asuma fuertemente sus compromisos. En este contexto, el trabajo coordinado interinstitucional se visualiza como un mecanismo consensuado a establecer entre las instituciones involucradas en la temática (Institutos nacionales, Universidades, Ministerio de Ambiente y Producción Sustentable, etc.). Las mesas de trabajo y herramientas que ya existen se presentan como oportunidades en pos de este objetivo (por ejemplo: Proyectos GEO-INTA, PROBIOMASA, mesas de Agua, entre otros).

No obstante, para el logro de la articulación, se consideró necesario definir una institución coordinadora que lidere el proceso (rol propuesto para la Secretaria de Energía de la provincia). Asociado a estas acciones se prioriza la gestión de recursos financieros y humanos específicos para llevarlas a cabo.

Acciones vinculadas: Otras acciones propuestas refieren a la posibilidad de regulación y control de los proyectos de energías renovables por parte de las instituciones profesionales (colegios, asociaciones, etc.).

Asimismo, la educación en todos los niveles (formal y no formal, particular e institucional), debe orientarse fuertemente a la concientización de la población. Esta acción refiere tanto a la difusión masiva de las leyes y la aplicación de tecnologías de fuentes renovables, como a iniciativas de ahorro energético.

La promoción de nuevas tecnologías debe impulsar particularmente el desarrollo de la energía solar térmica, otras fuentes renovables en crecimiento (minihidráulica y biomasa) y una potencial combinación de las mismas. Respecto a generar incentivos económicos concretos, se proponen subsidios al sector domiciliario, privado y a pequeños municipios para promocionar el cambio de tecnologías y la transición a un modelo energético más sustentable.

Aportes desde el sector Científico Tecnológico: A nivel de grupo de investigación Planificación Energética y Gestión Territorial (INENCO) se plantearon acciones y compromisos concretos, objeto de esta investigación, relacionados al desarrollo de un Sistema de Información Geográfico (SIG) energético y un Sistema de Soporte a las Decisiones (SSD) para energía solar en Salta con software libre. La finalidad de esta línea de trabajo es

acrecentar la democratización y el acceso a la información como así también brindar herramientas prácticas para la toma de decisiones en los ámbitos de la planificación energética y gestión territorial local y regional.

Por otra parte, se planteó la realización de una evaluación técnica, económica y social de la oferta potencial de la energía fotovoltaica para la ciudad de Salta en el marco de las nuevas leyes, con el objetivo de fomentar su divulgación e implementación.

Del mismo modo, se asumió el desafío de organizar nuevos espacios de reflexión y diálogo para concientizar y vincular a los sectores interesados en el fomento de las energías renovables. La articulación con otros ámbitos implica dar continuidad al trabajo interinstitucional, la colaboración mutua y la generación de nuevos intercambios tanto a nivel local como internacional.

Aportes desde el sector Productivo: A partir del trabajo colaborativo con la empresa local INTI AR, se lograron identificar las necesidades más acuciantes de este sector y las preguntas a las que generalmente se enfrentan a la hora de vender los productos, tales como ¿Cuánto es la producción de agua caliente promedio que genera un calefón solar? ¿Cuál es el ahorro energético que produce la instalación de un calefón solar? ¿Cuánta es la producción real de electricidad de una instalación fotovoltaica? Para responder estas preguntas, los responsables de INTI AR (y de otras empresas del sector) deben realizar cálculos estimativos puntuales en la zona a instalar estos productos (cálculo de radiación y eficiencia de equipos), lo que implica un tiempo significativo de trabajo al no contar con herramientas espaciales automáticas.

Asimismo la vinculación con la empresa permitió una familiarización con el proceso de desarrollo de tecnología solar: calefones, desalinizadores e invernaderos, las etapas necesarias a seguir, la mano de obra, el tiempo y el material utilizado.

6.3 Reflexiones del capítulo

En este capítulo se abordó la vinculación interactoral a través de talleres participativos y un trabajo coordinado con una empresa local. En los talleres colaborativos se destacaron las dificultades para acceder a la información de base existente necesaria para la gestión energética, así como la falta de información espacial referida a la disponibilidad de recursos renovables, especialmente el solar. En este sentido, los participantes expresaron tener dificultades para estimar la eficiencia y producción energética de las tecnologías renovables.

Por otro lado, el proyecto con INTIAR permitió comprender las necesidades específicas del sector productivo y profundizar en el proceso de desarrollo de sistemas solares como el calefón solar. Asimismo, permitió probar la metodología de trabajo ágil en un contexto de desarrollo más amplio al involucrar privados.

Las herramientas metodológicas utilizadas resultaron adecuadas a los fines de generar nuevos aportes a la planificación y gestión energética en el ámbito local. Los talleres participativos y el diálogo continuo interactoral permitieron la delimitación de factores claves y la propuesta de una estrategia de trabajo consensuada con acuerdos y responsabilidades entre las instituciones involucradas.

A partir de estas experiencias locales, nuevos espacios participativos de reflexión y acción se generaron en diversos ámbitos. Los mismos estuvieron relacionados principalmente a ER pero el aprendizaje de los talleres se derivó también en una apertura hacia otros temas prioritarios para la región. Entre los talleres realizados se destacan:

- Encuentro Regional del NOA: “Construcción de Buenas Prácticas para la Implementación de Energías Renovables”. Realizado en el marco del Proyecto de Investigación Orientada (PIO CONICET-YPF): “Energías Renovables en Argentina: Visiones y Perspectivas de los Actores Sociales”. 24 de junio de 2016. Centro Cultural Holver Martínez Borelli, Universidad Nacional de Salta, ciudad de Salta.
- Taller “¿Cómo Avanzamos hacia una Argentina Renovable?” Realizado en el marco del Proyecto PIO CONICET-YPF. XXXIX Reunión de Trabajo de la ASADES (Asociación Argentina de Energías Renovables y Ambiente) “Trayectorias hacia la Sustentabilidad”. 28 de octubre de 2016. Facultad de Arquitectura y Urbanismo de la Universidad Nacional de La Plata.
- Taller Interinstitucional: “Gestión del Agua en el Chaco Salteño”. Organizado por el grupo Planificación Energética y Gestión Territorial (INENCO - CONICET - UNSa), Secretaría de Recursos Hídricos de la Provincia de Salta e Instituto Nacional de Tecnología Industrial Centro Salta (INTI). 19 de diciembre de 2016. Biblioteca Provincial, Salta.

6.4 Referencias del capítulo

Javi, V. “Leyes Nº 7823 y Nº 7824 de Promoción de las Energías Renovables En Salta: Procesos de Redacción y Elaboración desde el Enfoque de la Comunicación Intercultural”. Acta de la XXXVIII Reunión de Trabajo de la Asociación Argentina de Energías Renovables y Medio Ambiente, Vol. 3, pp. 12.51-12.60, 2015. Impreso en la Argentina. ISBN 978-987-29873-0-5. 2015.

Ley Nº 7.823. “Régimen de Fomento para las Energías Renovables”. Salta, Argentina. http://www.boletinoficialsalta.gov.ar/VersionImprimibleLeyes.php?nro_ley2=7823 2014.

Ley Nº 7.824. “Balance Neto. Generadores Residenciales, Industriales y/o Productivos”. http://www.boletinoficialsalta.gov.ar/VersionImprimibleLeyes.php?nro_ley2=7824 2014.

PEyGET . Informe Workshop: “Información de Base para Modelos SIG”. 2014.

PEyGET. Informe Workshop: “Aportes al Fomento de las Energías Renovables en Salta. Acciones, Proyectos y Propuestas”. 2015.

Secretaría de Energía de la Provincia de Salta. “Plan Provincial de Energías Renovables”. Salta, Argentina. <http://www.salta.gov.ar/descargas/archivos/Cartilla-Plan-Energias-Renovables-Salta.pdf>. 2014.

7. ATLAS DE RADIACIÓN SOLAR

Para lograr una herramienta integral de soporte en la toma de decisiones es esencial reconocer el potencial de los recursos renovables en la región, tal como se identificó en los encuentros participativos. En el área de estudio, las mediciones de radiación solar son puntuales, escasas y dispersas. Esta falta de información dificulta la caracterización del comportamiento espacial y temporal del recurso solar en Salta, provincia con gran variabilidad altitudinal y geográfica. En este sentido, un atlas de radiación solar es un insumo clave para lograr el desarrollo de herramientas integrales que promuevan la inserción de las ER en la región.

Este capítulo describe el desarrollo de un atlas de radiación solar para la provincia en alta resolución espacio-temporal, utilizando imágenes satelitales con datos de radiación que son validados por datos medidos en estaciones terrestres disponibles in situ y estimaciones de métodos empíricos. El atlas de radiación solar contiene mapas de radiación solar global diaria, mensual y anual sobre plano horizontal, expresados en kWh/m². Dicho atlas fue construido en diferentes formatos para garantizar la accesibilidad a los distintos grupos de usuarios interesados.

En la presente tesis, por su uso generalizado, se adoptó el término de radiación solar como sinónimo a irradiación solar⁵.

7.1 Metodología de trabajo

7.1.1 Antecedentes de mapeo de la radiación solar

Diversos métodos se utilizan para el mapeo de radiación solar. Naturalmente, lo más recomendable es contar con datos históricos de radiación, provenientes de una red de estaciones meteorológicas calibradas y mantenidas. Esto permitiría evaluar el comportamiento del recurso solar con gran precisión. Sin embargo, los altos costos de instalación, mantenimiento y comunicación para centralizar los datos han promovido el desarrollo de diferentes modelos para estimar la radiación solar a partir de datos climáticos disponibles. Estos modelos se pueden agrupar en tres categorías:

- **Métodos empíricos:** Journée y Bertrand (Journée et al., 2010) clasifican los modelos empíricos en tres categorías: modelos de día claro, modelos basados en la temperatura y modelos basados en la nubosidad. En general, un modelo bien calibrado de día claro puede proporcionar mejores estimaciones de radiación solar que los modelos basados en la temperatura o en la nubosidad (Iziomon et al., 2001; Podesta et al., 2004). Algunas aplicaciones de modelos empíricos a nivel local y regional se basan en correlaciones estadísticas con variables geográficas como la altitud y la latitud (Belmonte et al., 2006; 2009).

⁵ Se entiende por: - *Irradiancia solar*: Potencia solar incidente en una superficie por unidad de área.

- *Irradiación solar*: Energía solar incidente en una superficie por unidad de área. Es el resultado de integrar la irradiancia en un período de tiempo.

- Métodos de interpolación/extrapolación de medidas in situ: Estos métodos se utilizan con frecuencia en el desarrollo de mapas de radiación solar en diferentes escalas espaciales. Consiste en la interpolación o extrapolación por métodos estadísticos o geoestadísticos de los valores de radiación solar a partir de mediciones de estaciones meteorológicas (Rehmana et Ghor, 2000). Los errores en la evaluación de la radiación solar por interpolación o extrapolación están dados por la densidad de la red, es decir que a una mayor distancia entre estaciones mayores son los errores. Métodos de interpolación se aplicaron en el desarrollo de los primeros mapas de radiación solar para Argentina (Grossi Gallegos et al., 2003; Righini et al., 2003; Righini et al., 2005).

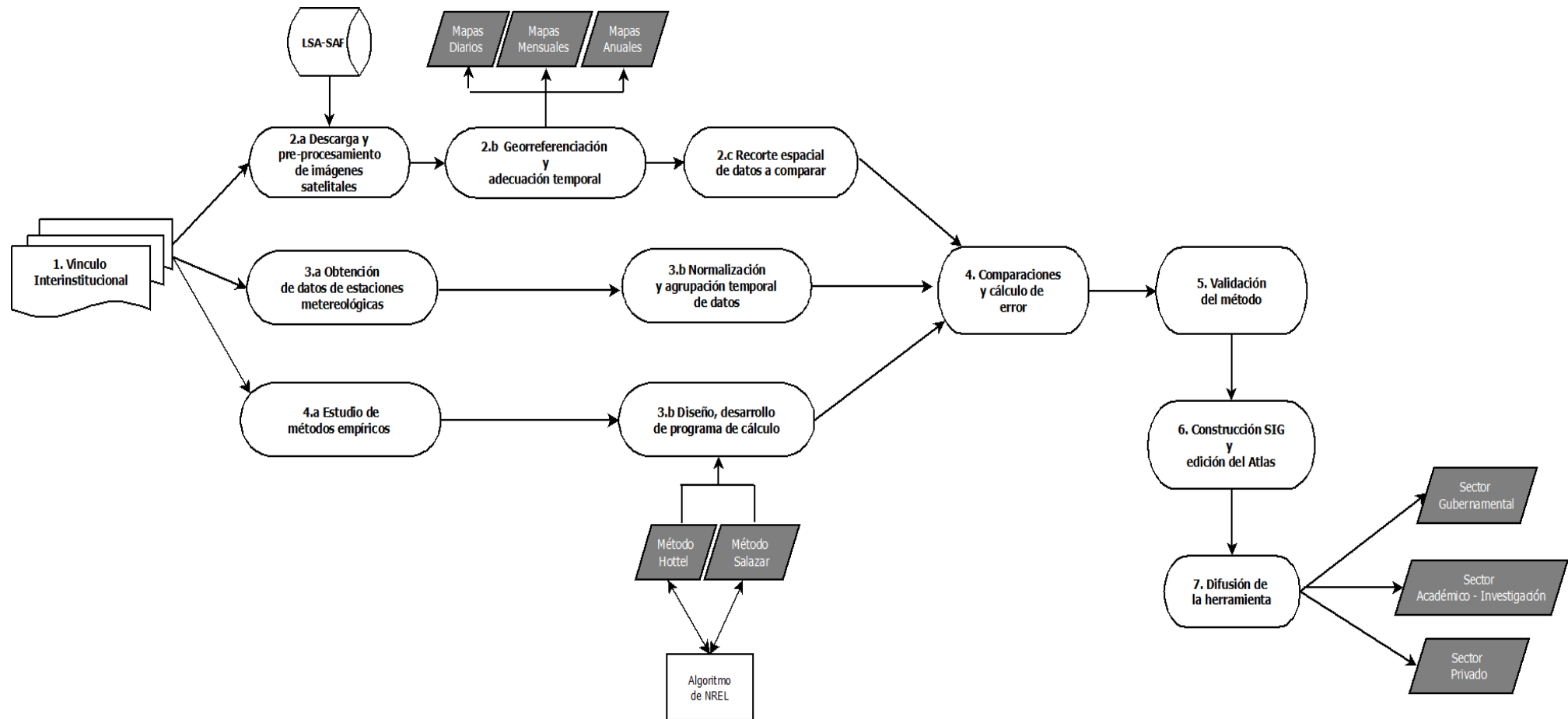
- Datos obtenidos de imágenes satelitales: El acelerado desarrollo de los satélites en las últimas décadas ha favorecido a la comunidad científica aportando una gran cantidad de datos ambientales y climáticos. Numerosos servicios asociados con estos satélites proporcionan datos para mapear la radiación solar global (entre ellos: NOAA, 2018; EUMETSAT, 2018). Los datos modelados por satélite se citan con frecuencia como más precisos que los métodos empíricos o de interpolación/extrapolación cuando la distancia a la estación meteorológica es superior a 34 km (Perez et al., 1997). Los datos de radiación solar derivados de imágenes satelitales son comúnmente utilizados para proyectos de ER en general y especialmente para cálculos de energía solar fotovoltaica en zonas alejadas de estaciones meteorológicas (Ramirez Camargo et al., 2015; Palmer et al., 2017). Como caso particular, se puede mencionar el desarrollo de una herramienta de apoyo a las decisiones para la energía solar fotovoltaica y térmica basada en datos históricos satelitales de radiación solar en Chile (Molina et al., 2017).

Actualmente, los estudios de radiación solar combinan los datos de imágenes satelitales con modelos empíricos y, a su vez, estos resultados son validados con datos de estaciones meteorológicas de referencia (Salazar et al., 2013). Sin embargo, la mayoría de estos trabajos solo presentan datos de radiación solar para lugares específicos (Thomas et al., 2016). Con un alcance mayor, existen otros estudios orientados al desarrollo de SIG y mapas temáticos de radiación que posibilitan su uso para la planificación y gestión energética, tal es el caso de España (Bosch et al., 2010), Uruguay (Suárez et al., 2014), República de Djibouti (Pillot et al., 2015) y Chile (Molina, 2017).

7.1.2 Proceso metodológico

La Figura 6.1 presenta un diagrama del proceso metodológico llevado a cabo durante el desarrollo del atlas de radiación solar. El proceso incluye básicamente las siguientes etapas generales: vínculo institucional, descarga y pre-procesamiento de datos, obtención de datos de estaciones meteorológicas, estudio de métodos empíricos, georreferenciación y adecuación temporal, recorte espacial de datos a comparar, normalización y agrupación temporal e datos, diseño de programa de cálculo, comparaciones y cálculo de error, validación del método, y finalmente, construcción SIG y edición de Atlas.

Figura 6.1 Diagrama del proceso metodológico para la elaboración del Atlas de Radiación solar de Salta.



Adquisición de datos y pre-procesamiento

En este estudio se utilizaron tres conjuntos de datos de radiación solar: a) mediciones de cinco estaciones meteorológicas ubicadas alrededor del área de estudio, b) datos derivados de imágenes del satélite de segunda generación de Meteosat (MSG) generadas por Land Surface Analysis Satellite Applications Facility (LSA-SAF), y c) estimaciones generadas por métodos empíricos

a) Estaciones meteorológicas

Existen pocos registros disponibles de mediciones de radiación solar, especialmente en el Norte de Argentina. Sin embargo, se recolectaron datos de cinco piranómetros instalados en la región por instituciones públicas y privadas durante el período 2009-2015. Los detalles de cada estación se detallan en la Tabla 6.1. Las estaciones se distribuyen en un rango de altitud de 979 a 3463 m.s.n.m. En todos los casos, las mediciones provistas utilizaron piranómetros Davis Vantage Vue .

Tabla 6.1 Resumen de las principales características de las estaciones terrestres usadas en el análisis.

Lugar	Longitud	Latitud	Altitud (m.s.n.m)	Período temporal disponible		Frecuencia de medición (minutos)
				Desde	Hasta	
Abra Pampa (Jujuy)	65.4933 W	22.4756 S	3463	Octubre 2011	Enero 2016	5-15
El Pongo (Jujuy)	65.0831 W	24.2255 S	979	Septiembre 2006	Febrero 2016	15
La Viña (Salta)	65.3105 W	25.1821 S	1198	Junio 2009	Diciembre 2006	15
El Rincón (Salta)	67.0222 W	24.0112 S	3800	Mayo 2006	Marzo 2016	60
Cafayate (Salta)	65.5826 W	26.0833 S	1620	Septiembre 2008	Mayo 2016	30-60

La compilación de las series de datos implicó un trabajo arduo y complejo ya que esta información no está disponible ni se difunde para el público en general. Los pasos generales que se siguieron para la gestión de los datos fue: 1) Crear una base de datos de las organizaciones establecidas en el área de estudio, 2) Averiguar si la organización tenía datos de radiación, 3) Establecer contacto informal con la organización y explicar los objetivos de la investigación, 4) Constituir acuerdos de confidencialidad, 5) Organizar reuniones con las personas a cargo de los datos, 6) Agrupar y centralizar datos.

b) Imágenes satelitales de MSG por LSA SAF

Los datos satelitales utilizados para el mapeo son provistos por la Red Land Surface Analysis Satellite Applications Facility (LSA SAF - <http://landsaf.meteo.pt/>) que pertenece a la Organización Europea para la Explotación de Satélites Meteorológicos (EUMETSAT). La variable descargada de las imágenes satelitales corresponde a “Flujo de onda corta sobre superficie descendente” (en inglés Down-welling surface shortwave flux: DSSF). DSSF se refiere a la energía radiativa en el intervalo de longitud de onda entre [0.3µm, 4.0 µm] que alcanza la superficie terrestre por unidad de tiempo y corresponde a la cantidad más importante

involucrada en el presupuesto de radiación solar superficial (Geiger et al., 2011). Esta variable es comparable al concepto de radiación solar global en el plano horizontal.

DSSF se deriva del instrumento “Spinning Enhanced Visible and Infrared Imager (SEVIRI)”, el cual se encuentra a bordo del satélite MSG y se calcula utilizando un algoritmo desarrollado por Météo-France, que se mantiene actualizado desde 2004. Este algoritmo apareció originalmente en 1999 (Geiger et al., 2011) y fue validado por primera vez por Geiger et al. (2011). Trabajos de validación posterior pueden encontrarse en múltiples trabajos (Ineichen et al., 2009; Journée et Bertrand, 2010; Roerink et al., 2012; Moreno et al., 2013; Ramirez Camargo et al., 2015; Ramirez Camargo et al., 2016).

Los datos de radiación solar se obtuvieron en paquetes de 1000 imágenes en formato HDF5 a través de un formulario web y un protocolo de transferencia de archivos (ftp) de la página web de LSA-SAF. Se eligieron imágenes de cada media hora comprendidas entre 2009 y 2015, seleccionando la región de América del Sur donde se encuentra la zona de estudio. Dado que el día estándar consta de 48 archivos, al captar una imagen cada 30 minutos, un total de 17.520 se pueden obtener para cada año. Sin embargo, se obtuvo un promedio de 17.356 por año, esto se debe a que los años 2013 y 2014 omiten 4 días completos de datos y el resto de los mapas faltantes se distribuyen irregularmente a lo largo del año (Zhou et Wang, 2016). Las imágenes tienen una resolución espacial de 4.8 km de lado para el área de estudio.

El paquete de imágenes comprimidas en formato HDF5 se separó en imágenes Geotiff para su georreferenciación en el código EPSG 22183 ("POSGAR 94 / Argentina 3"). La librería utilizada para la transformación fue la biblioteca de abstracción de datos geoespaciales (GDAL, 2018). A su vez, se convirtieron los mapas satelitales en unidades comunes (Wh/m^2) para permitir las comparaciones. El lenguaje de programación R (R-project, 2018) en el entorno de desarrollo integrado R-Studio (R-studio, 2018) se usó para esta transformación usando la biblioteca raster (Hijmans, 2018) y sus funciones aritméticas.

Las comparaciones entre las distintas fuentes de datos se realizaron en base diaria, mensual y anual, por lo cual los datos de LSA-SAF, que corresponden a la irradiancia solar instantánea, fueron acumulados en base diaria usando la ecuación (1). Se toma como supuesto que la irradiancia permanece inalterada en cada período de 30 minutos, el primer mapa corresponde las 00:00 a.m y el último a las 11:30 p.m. Una vez que se recopilaron los datos en base diaria, los mapas se agruparon en base mensual reuniendo todos los mapas diarios de cada mes de los siete años.

$$I = \sum_{i=0}^{47} (0.5 h * r_i) \quad (1)$$

I: Irradiación acumulada diaria ($W.h/m^2$)

r_i : Mapa raster con valores DSSF (W/m^2)

Finalmente, se extrajeron los valores de los mapas diarios y mensuales correspondientes a las ubicaciones pertenecientes a las cinco estaciones meteorológicas. Los procedimientos también se realizaron

en R utilizando las librerías: sp (CRAN, 2018), raster (Hijmans, 2018) y rgdal (CRAN, 2018), generando al final archivos de salida con el mismo formato que los archivos finales de mediciones.

c) Estimaciones generadas por métodos empíricos

Para validar los datos LSA-SAF, se estimaron datos de radiación solar basada en modelos empíricos. Se combinaron dos modelos de cielo claro para tal fin: Hottel (Duffie and Beckman, 2013) y ARG-P (Salazar et al., 2010). Ambos modelos estiman la irradiancia solar global horizontal en condiciones de cielo claro y se usan regularmente en la región (Belmonte et al., 2009; Ruetsch et al., 2010; Altamirano et al., 2013).

Hottel expresa la transmitancia atmosférica, como una función de: ángulo cenital (mayor transmitancia en dirección vertical, menor en dirección del horizonte), altura sobre el nivel del mar (mayor transmitancia a mayor altitud) y tipo de clima. ARG-P usa la irradiancia solar extraterrestre y le aplica un índice de claridad que es generado en función de la altitud. Como ARG-P presenta buen rendimiento en lugares ubicados en gran altura, este método se utilizó para estaciones ubicadas a más de 2500 metros sobre el nivel del mar y se aplicó el método Hottel para estaciones ubicadas debajo de esas condiciones.

Se desarrolló un programa en lenguaje C para calcular la irradiación en forma diaria y mensual utilizando estos modelos empíricos y dado que ambos modelos necesitan ángulos geométricos solares, como el ángulo cenital, el ángulo acimutal y los ángulos de incidencia, se adecuó el software libre llamado “Algoritmo de Posición Solar” (SPA) desarrollado por el Laboratorio Nacional de Energía Renovable (NREL, 2008). Este algoritmo calcula los ángulos zenith y acimut solares en el período del año 2000 a 6000, con incertidumbres de ± 0.0003 grados en función de la fecha, hora y ubicación en la Tierra (Reda, 2003).

Las variables de entrada del programa son latitud, longitud y altitud de las estaciones de tierra y la salida es un archivo en formato .csv de 24 columnas con radiación solar diaria durante 12 días característicos y radiación solar mensual para un año promedio.

Análisis comparativo

Se realizaron distintas comparaciones temporales entre los datos de LSA-SAF, las mediciones de estaciones meteorológicas y las estimaciones empíricas: a) *Radiación solar promedio diaria*, b) *Radiación solar promedio acumulada mensual*, c) *Radiación solar promedio acumulada anual*. En todos los casos se consideró radiación solar global sobre plano horizontal.

Los días característicos utilizados en las comparaciones diarias se seleccionaron de acuerdo a Duffie y Beckman (2013) (Tabla 6.2). En el caso de las comparaciones mensuales se realizaron los promedios de los siete años con datos satelitales acumulados para cada mes; lo mismo en el caso de valores promedios acumulados anuales.

Tabla 6.2 Días característicos usados (Duffie and Beckman, 2013).

Mes	Día	Día Juliano
Enero	17	17
Febrero	16	47
Marzo	16	75
Abril	15	105
Mayo	15	135
Junio	11	162
Julio	17	198
Agosto	16	228
Septiembre	15	258
Octubre	15	288
Noviembre	14	318
Diciembre	10	344

El rendimiento del producto DSSF se evaluó utilizando índices estadísticos y medidas de error utilizadas regularmente a nivel nacional e internacional (Ramirez Camargo et al., 2015; Moreno et al.; 2013; Ineichen et al., 2009 Raichijk, 2009; Cristóbal, 2012): a) Error cuadrático medio (RMSE%) - Ecuación (2), b) Error absoluto medio (MBE%) - Ecuación (3), c) El coeficiente de determinación R^2 , y d) El error relativo (Er.).

$$RMSE\% = 100 * [\sum_{i=1}^n (\bar{H}_{i-tierra} - \bar{H}_{i-satelite}) / n] / (\sum_{i=1}^n \bar{H}_{i-tierra} / n) \quad (2)$$

$$MBE\% = 100 * \sum_{i=1}^n (\bar{H}_{i-tierra} - \bar{H}_{i-satelite}) / \sum_{i=1}^n \bar{H}_{i-tierra} \quad (3)$$

\bar{H} tierra: Irradiación solar global mensual de estación terrestre.

\bar{H} satélite: Irradiación solar global mensual tomada de imagen satelital.

7.1.3 Programas utilizados y estrategias de difusión

Durante el proceso de desarrollo de este estudio se usaron diversos programas de uso libre y gratuito, en combinación con programas de desarrollo propio. La Tabla 6.3 presenta un resumen de ellos, sus aplicaciones y sus licencias.

Tabla 6.3 Listado de software utilizados y licencias.

Software	Uso	Licencia
R	Funciones matemáticas de agregación. Análisis estadístico. Comparaciones y correlaciones.	GNU – General Public License v3
R - Studio	Usado como entorno integrado de desarrollo (IDE) para el lenguaje de programación R y plateo de gráficos.	GNU - Affero General Public License v3.
Software propio en el lenguaje R	Desarrollado para el pre-procesamiento de los datos tomados de estaciones de tierra y datos satelitales.	GNU – General Public License v2
Software propio en el lenguaje C	Programa desarrollado para la estimación de irradiación global solar bajo condiciones de cielo claro.	GNU – General Public License v2
Q GIS	Organización del SIG, para visualización de capas temáticas de irradiación y para la edición de mapas.	GNU - General Public License v3
GDAL	Re-proyección de mapas y conversión del formato de imágenes satelitales.	MIT License

Para garantizar la accesibilidad del atlas a los distintos actores se construyó un proyecto SIG en el software Quantum GIS (QGIS) donde se integraron y centralizaron las capas bases y los mapas de radiación solar generados. La mayoría de las capas bases utilizadas se descargaron del Instituto Geográfico Nacional (IGN, 2018) y se adecuaron para la provincia de Salta. En la Tabla 6.4 se presenta un resumen de las capas bases utilizadas.

Tabla 6.4 Lista de las principales capas bases usadas.

Capa Temática	Tipo	Fuente
Divisiones políticas y administrativas (nacional, provincial y departamentales)	Vector (Polígonos)	Instituto Geográfico Nacional
Capitales Principales	Vector (Puntos)	Instituto Geográfico Nacional
Rutas nacionales y provinciales.	Vector (Líneas)	Instituto Geográfico Nacional – Open Street Map
Red hidrográfica (ríos, lagos y diques)	Vector (Líneas / Polígonos)	Instituto Geográfico Nacional
Modelo Digital de Elevación	Raster	NASA (NASA,2018)

A partir del proyecto en QGIS, se editaron los mapas con especial cuidado en que sean fácilmente comprensibles y legibles por cualquier usuario. Además, se construyó un archivo de tipo Keyhole Markup Zip (kmz) con todos los datos de radiación, para garantizar una forma rápida y liviana de compartir el desarrollo. Finalmente, se propusieron varias estrategias de difusión para llegar a los diferentes grupos de interesados, entre ellos: seminarios científico-académicos, carga de las capas en el sitio web de IDESa, reuniones con el

sector gubernamental, grabado de DVD (ANEXO DIGITAL 2 de la tesis) y difusión entre actores interesados, confección de artículos científicos (Sarmiento et al., 2019), entre otros.

7.2 Resultados

7.2.1 Mapas de Radiación Solar de Salta

El atlas de radiación solar de la provincia está construido en formato digital (proyecto QGIS, capas geotiff en IDESa y repositorio personal, archivo .kmz para visualización y consulta en plataforma Google Earth) y editado en formatos de impresión (.png, .pdf, .jpg). Está compuesto por: 12 mapas de radiación solar global diaria (un día característico por mes) (Figura 6.2), 12 mapas de radiación solar global acumulada mensual (uno por cada mes del año) (Figura 6.3) y un mapa de radiación solar global acumulada anual (Figura 6.4). Todos los mapas refieren a radiación solar sobre plano horizontal y se encuentran expresados en kWh/m².

Figura 6.2 Mapas de radiación solar de día característico desde Enero a Diciembre.

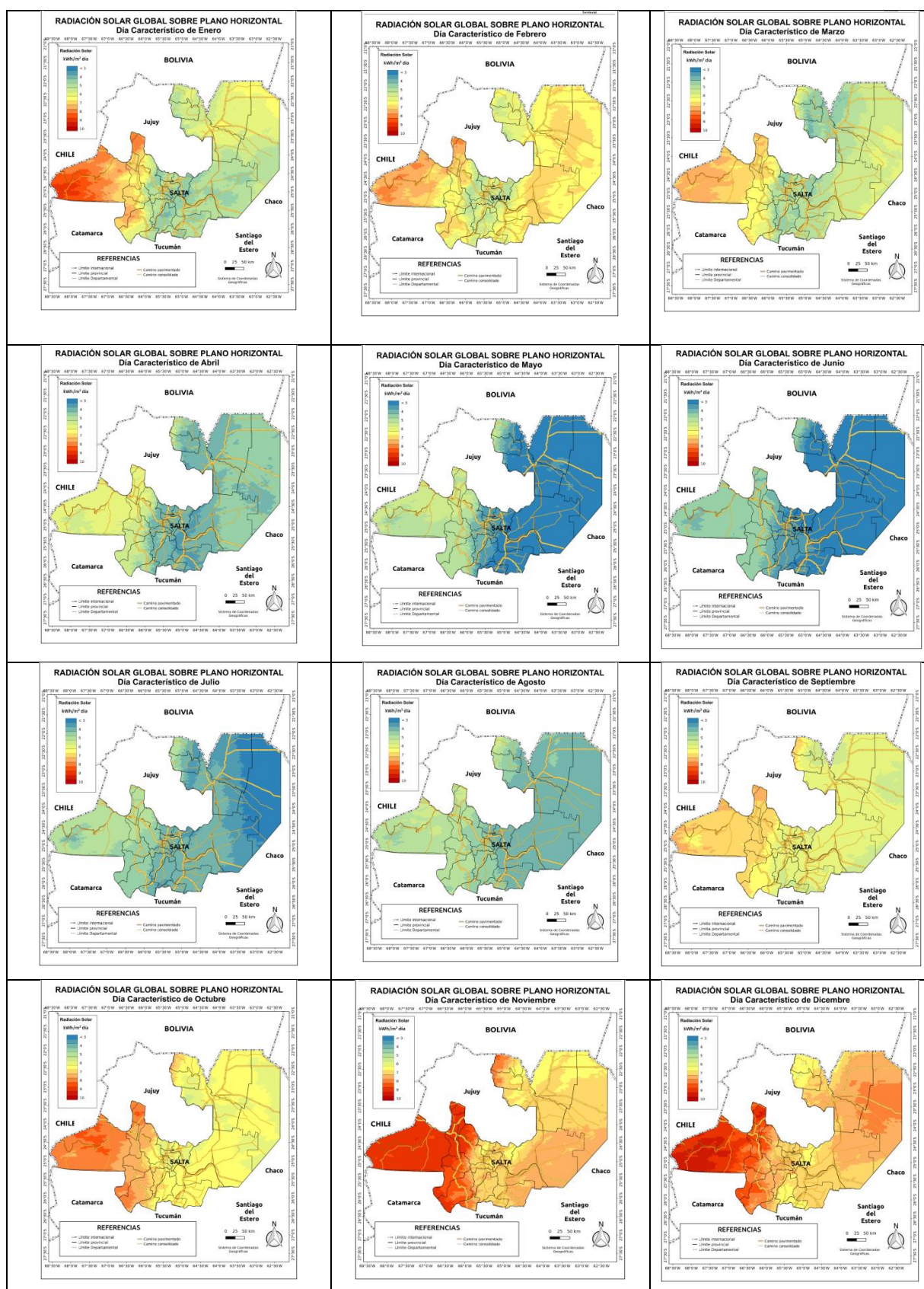


Figura 6.3 Mapas de radiación solar acumulada mensual desde Enero a Diciembre.

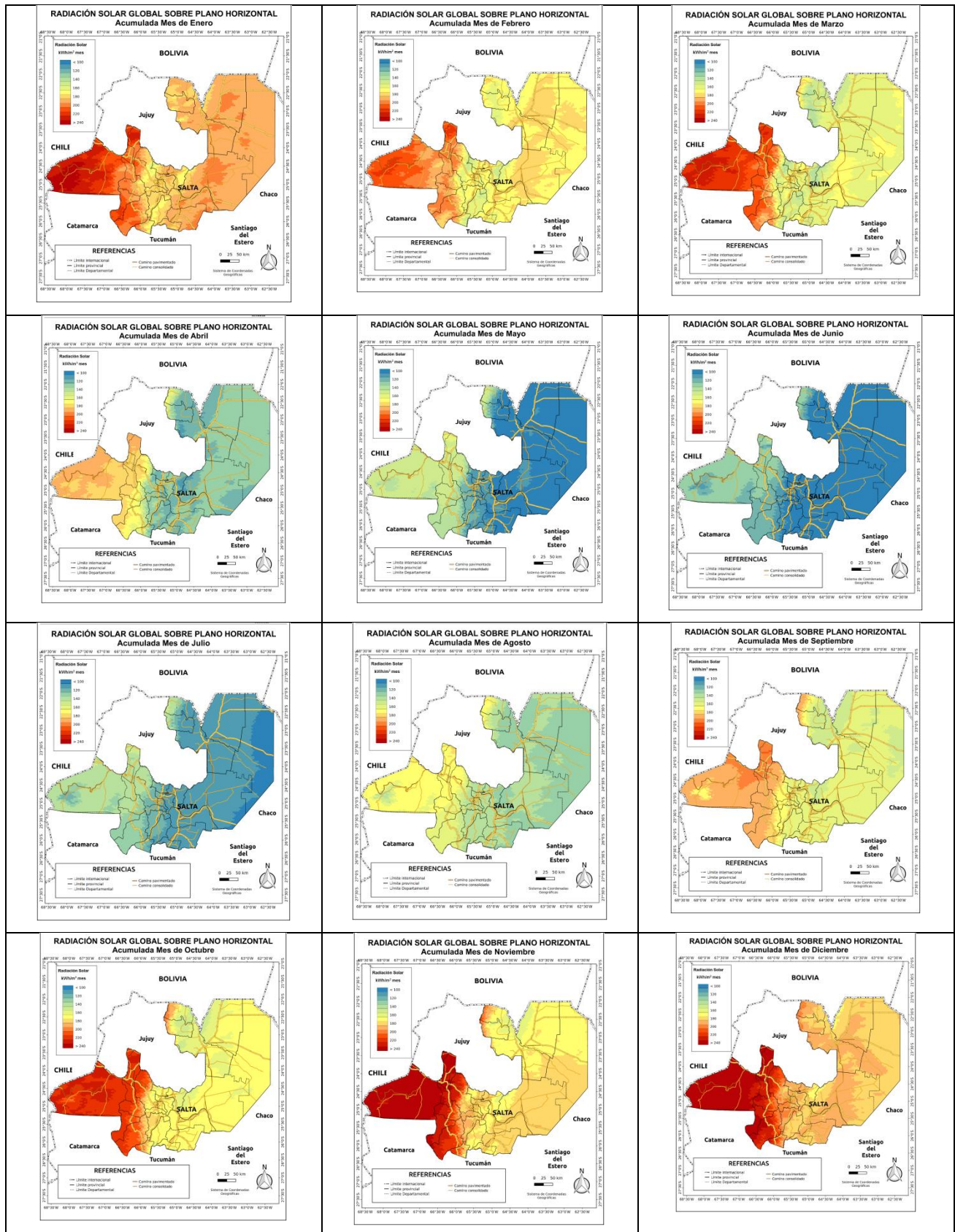
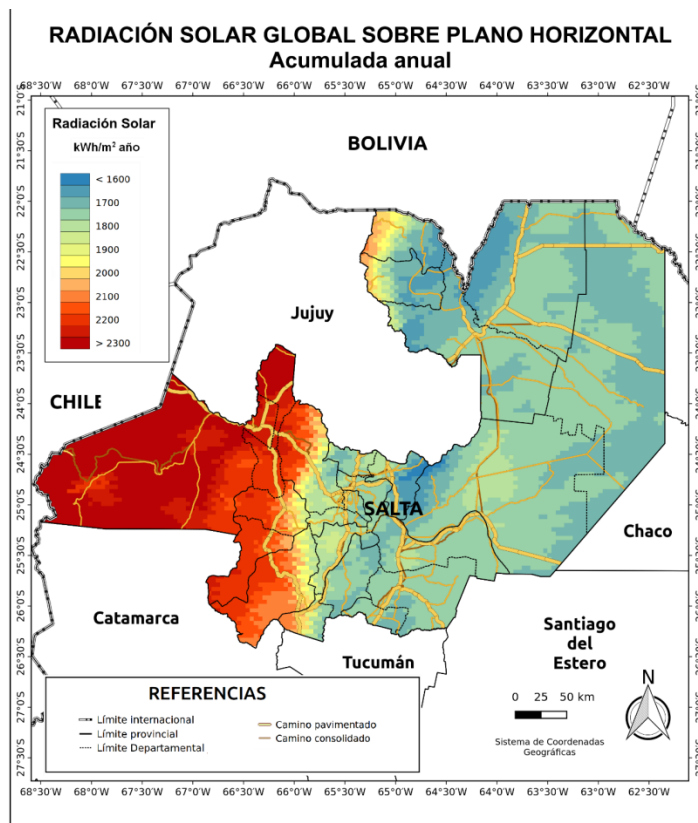


Figura 6.4 Mapa de radiación solar acumulada anual.



7.2.2 Análisis del recurso solar en la provincia

A partir de los mapas generados se puede observar un excelente potencial del recurso solar para la provincia de Salta (Figura 6.4). La región Oeste, donde se encuentran las áreas montañosas más altas, tiene los valores de radiación más altos, superando valores anuales de 2300 kWh/m^2 . Esta medida coloca a la región dentro de las 7 zonas con los valores más altos de radiación solar del mundo (Roerink et al. 2012). La región central y la región Este tienen valores anuales entre 1600 y 2000 kWh/m^2 , lo que confirma un potencial satisfactorio para las aplicaciones de energía solar.

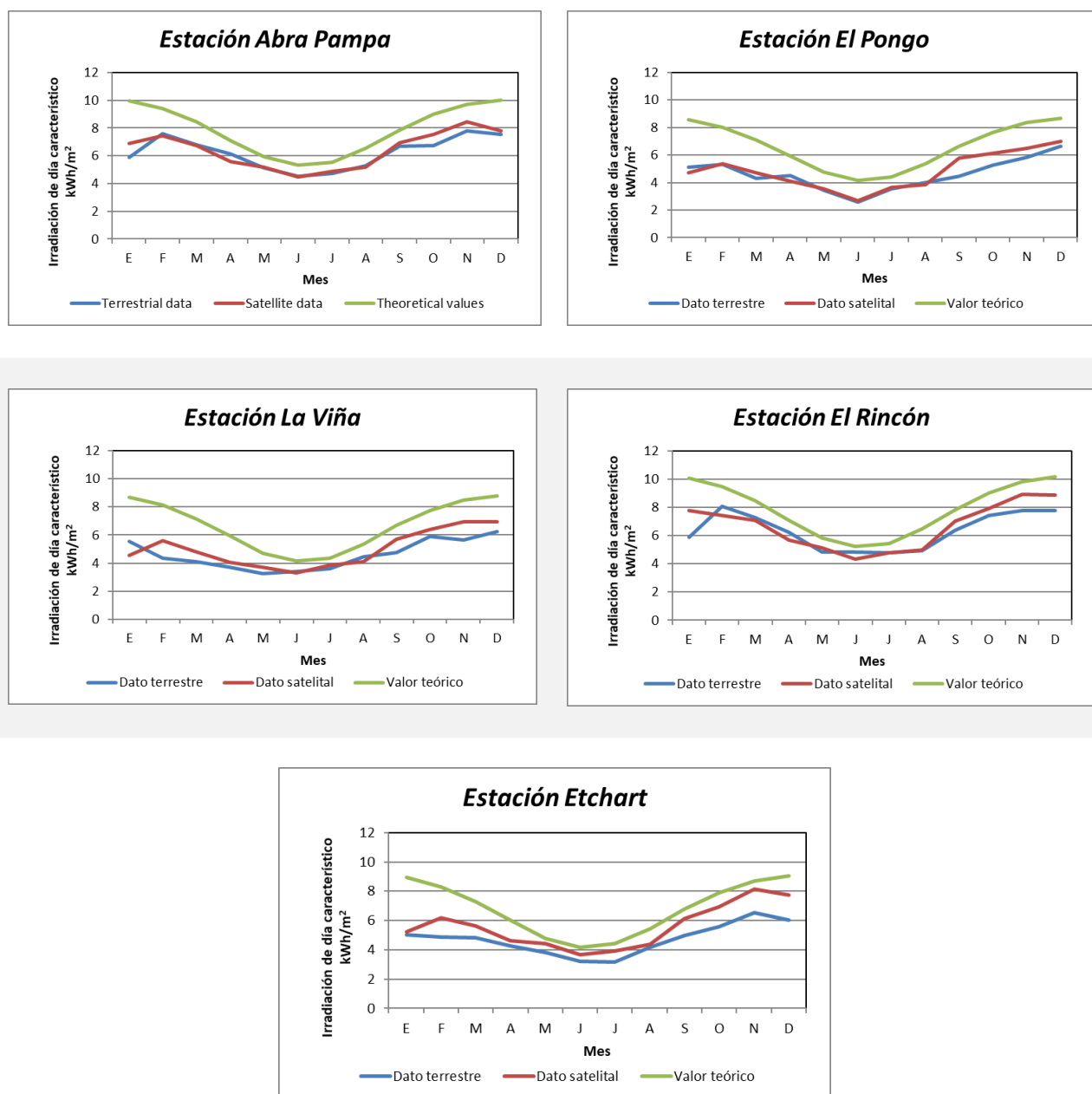
Con respecto a la distribución de la radiación durante el año, los valores máximos diarios se concentran en noviembre (6 a 9 kWh/m^2) y el mínimo en junio ($2,5$ a 5 kWh/m^2). El Valle de Lerma presenta la menor radiación solar en los meses de verano, lo cual puede asociarse con los efectos de la nubosidad y las precipitaciones que caracterizan a esta área geográfica. Si bien, mayores evidencias son necesarias para confirmar esta afirmación, los mapas de cobertura efectiva de nubosidad media mensual de Carmona et al. (2017) muestran que este sector de Salta tiene los valores más altos de toda la República Argentina durante los meses de verano.

7.2.3 Comparaciones de datos y análisis de fuentes

a) Radiación solar del día característico

En este apartado se presentan los análisis comparativos de la radiación solar global horizontal diaria entre datos satelitales, mediciones de estaciones meteorológicas y estimaciones empíricas para las cinco estaciones disponibles en la zona. Como se puede observar en la Figura 6.5 las estaciones Abra Pampa y El Rincón tienen los valores de radiación solar más altos, lo cual es de esperarse dada la altitud en la que se encuentran.

Figura 6.5 Gráfico comparativo para la irradiación solar global horizontal de día característico en los puntos correspondientes a las estaciones terrestres.



En todos los casos, los valores de radiación diaria de los datos satelitales y de estaciones meteorológicas están por debajo de la curva de los datos correspondientes a las estimaciones empíricas a lo largo del año, lo cual es de esperar ya que estas estimaciones se realizaron con métodos de cielo despejado (Figura 6.5). En invierno (Junio-Agosto), se observan las diferencias más pequeñas entre los valores de modelos de cielo despejado, valores satelitales y medidos. Estos meses corresponden a la estación seca del año (muy baja nubosidad). Por otro lado, las mayores diferencias se observan durante la estación húmeda (Septiembre - Abril), donde hay mayor nubosidad y ocurren las precipitaciones. Esta situación puede corroborarse además en la Tabla 6.5, donde se observan valores más bajos de MBE para la estación seca (otoño-invierno), mostrando una mayor variabilidad en los meses de verano debido a las causas explicadas anteriormente.

En la comparación realizada entre datos satelitales y medidos (Tablas 6.5 y 6.6), se observa que el MBE% es inferior al 10% en casi todas las estaciones, exceptuando Cafayate. En relación a la variabilidad para días característicos, los mayores valores de MBE% se alcanzan durante los meses de septiembre y noviembre (16%).

Tabla 6.5 Indicadores estadísticos comparativos entre datos satelitales y mediciones terrestres para estaciones meteorológicas.

Estaciones Meteorológicas	RMSE%	MBE%	R ²
Abra Pampa	7	-3	0.90
El Pongo	12	-6	0.86
La Viña	16	-9	0.74
El Rincón	13	-5	0.78
Cafayate	22	-19	0.93

Tabla 6.6 Indicadores estadísticos comparativos entre datos satelitales y mediciones terrestres para el día característico de cada mes.

Meses	RMSE%	MBE%	R ²
17 de Enero	19	-6	0.59
16 de Febrero	14	-6	0.84
15 de Marzo	10	-6	0.96
15 de Abril	9	3	0.90
11 de Mayo	9	-7	0.93
17 de Junio	25	-10	0.09
16 de Julio	9	-6	0.87
15 de Agosto	4	1	0.88

15 de Septiembre	17	-16	0.95
14 de Octubre	14	-13	0.83
10 de Noviembre	17	-16	0.84
17 de Diciembre	14	-12	0.49

b) Radiación solar acumulada mensual

Los resultados comparativos de la radiación solar mensual se presentan en la Figura 6.6. Los datos de radiación solar mensual se refieren a la suma de todos los días del mes considerado divididos por el número de años que se tuvieron en cuenta, en este caso 7. En general, el comportamiento de la curva es similar para las diferentes estaciones consideradas. En el período de Abril a Septiembre (estación seca) se observan mejores ajustes. Las Tablas 6.7 y 6.8 muestran los resultados de los índices estadísticos para las comparaciones mensuales. La correlación entre el satélite y los datos medidos es superior al 77% para todas las estaciones. Sin embargo, en los meses de verano se observa mayor variabilidad, destacándose una subestimación de los valores del satélite en la radiación solar para el mes de enero y una sobreestimación para los meses de octubre, noviembre y diciembre. Los valores de MBE tienen una diferencia notable en estos meses, especialmente en Noviembre y Diciembre donde alcanzan valores de -29% y -27% respectivamente.

Factores de ajuste

En base a este primer análisis comparativo, se propusieron factores de ajuste para los meses de Enero, Octubre, Noviembre y Diciembre, donde las diferencias entre los datos satelitales y medidos de las cinco estaciones son mayores del 10%. La Ecuación 4, muestra la fórmula usada para la definición de los factores de ajuste.

$$A. F_j = \left(\frac{\sum_{i=0}^4 \bar{H}_{i-ground}}{\bar{H}_{i-satellite}} \right) / n \quad (4)$$

Factor_j de Ajuste = Factor de Ajuste para irradiación solar global horizontal mensual,

con j = Enero, Octubre, Noviembre y Diciembre.

\bar{H}_i = Irradiación solar global horizontal mensual, con i variando en cada estación.

n = Numero de estaciones en tierra.

Los factores de ajuste calculados fueron: Enero 1.07, Octubre 0.93, Noviembre 0.833, Diciembre 0.811. Estos factores se aplicaron a los mapas satelitales, ajustando los valores mensuales de radiación solar a los terrestres. Como se puede ver en la Figura 6.6, la curva "Datos satelitales ajustados" de la estación terrestre de Cafayate se aproxima significativamente a la curva de los datos terrestres en los meses de octubre a diciembre, cuando se aplican los factores de ajuste. Las tablas 6.5 y 6.6 muestran una mejora valiosa en los indicadores estadísticos (RMSE% - MBE%) y el coeficiente de determinación (R^2) en los datos ajustados. El caso

más notable es la estación en tierra de Etchart, ya que pasa de 26 RMSE%, -20 MBE% y R^2 0.77 a 16 RMSE%, -15 MBE% y R^2 0.95.

Fig. 6.6 Gráfico comparativo para la irradiación solar global horizontal acumulada mensual en los puntos correspondientes a las estaciones terrestres.

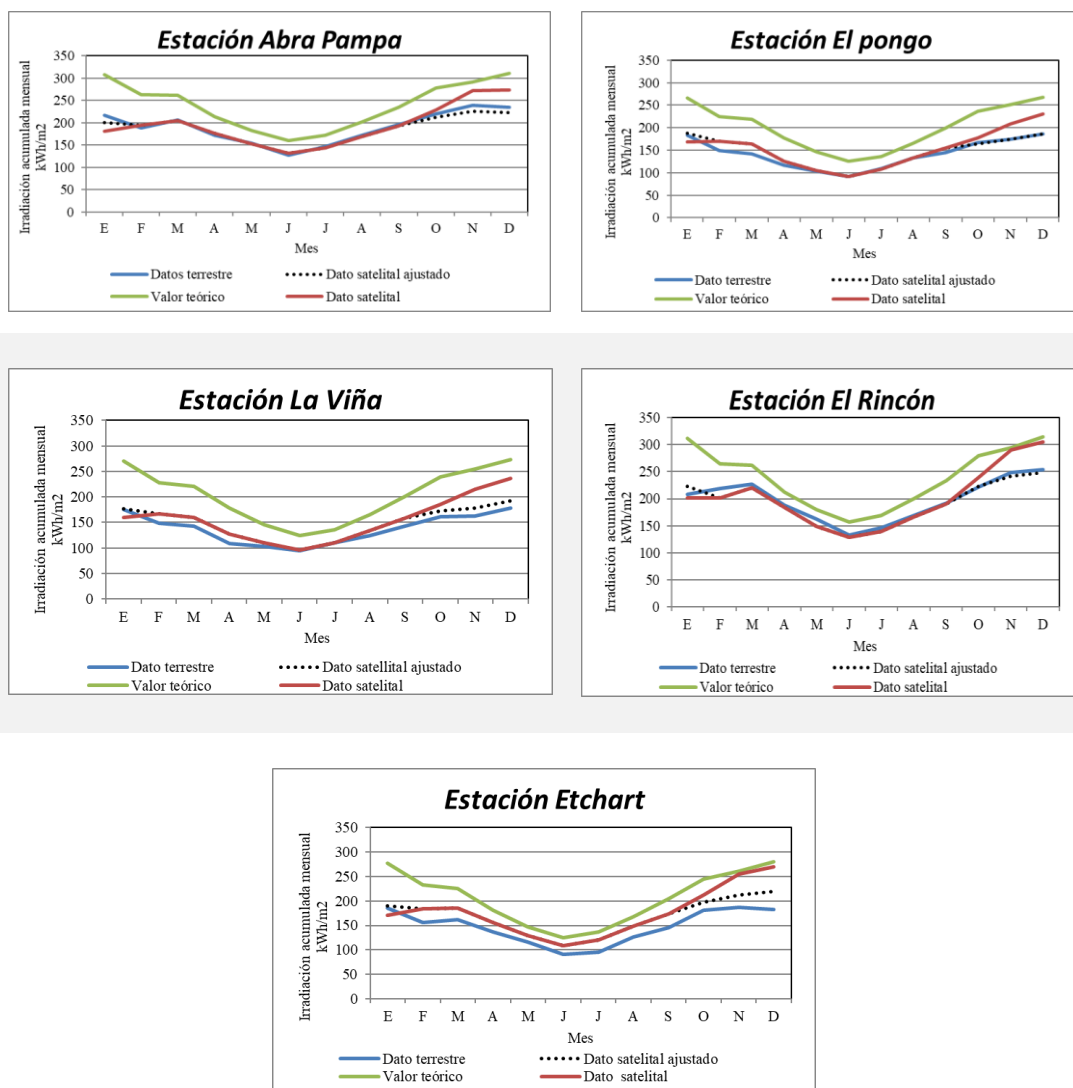


Tabla 6.7 Indicadores estadísticos para datos de LSA-SAF con y sin factores de ajuste en relación con las mediciones terrestres para estaciones meteorológicas.

Estaciones en Tierra	Datos Satelitales vs Datos medidos en Tierra			Datos Satelitales Ajustados vs Datos medidos en Tierra		
	RMSE%	MBE%	R ²	RMSE%	MBE%	R ²
Abra Pampa	10	-2	0.85	4	2	0.97
El Pongo	14	-8	0.88	7	-4	0.94
La Viña	19	-12	0.81	5	-8	0.96
El Rincón	11	-2	0.91	16	2	0.96
Etchart	26	-20	0.77	16	-15	0.95

Tabla 6.8 Indicadores estadísticos para los datos de LSA-SAF, antes y después de aplicar el factor de ajuste, en relación con las mediciones de estaciones meteorológicas.

Mes	Datos Satelitales vs Datos medidos en Tierra			Datos Satelitales Ajustados vs datos medidos en Tierra		
	RMSE%	MBE%	R ²	RMSE%	MBE%	R ²
Enero	10	9	0.62	5	-1	0.62
Febrero	11	-6	0.83	11	-6	0.83
Marzo	9	-6	0.96	9	-6	0.96
Abril	9	-7	0.95	9	-7	0.95
Mayo	7	-1	0.92	7	-1	0.92
Junio	8	-3	0.84	8	-3	0.84
Julio	10	-2	0.74	10	-2	0.74
Agosto	7	-4	0.83	7	-4	0.83
Septiembre	9	-6	0.85	9	-6	0.85
Octubre	11	-10	0.89	5	-2	0.89
Noviembre	23	-22	0.87	7	-2	0.87
Diciembre	29	-27	0.71	9	-3	0.71

c) Radiación solar acumulada anual

La Tabla 6.9 presenta los resultados del Error Relativo de las mediciones de estaciones meteorológicas con respecto a los datos satelitales y las mediciones de estaciones meteorológicas con datos satelitales ajustados para los valores anuales. Como se puede observar, el rendimiento del error relativo mejora

significativamente cuando se consideran los datos satelitales ajustados. El valor de error relativo más alto corresponde a la estación Etchart con un valor igual a 29%. Al considerar datos de satélite ajustados, el valor de error relativo de la misma estación terrestre solo alcanza el 9%.

Tabla 6.9 Error relativo para datos de LSA-SAF, antes y después de aplicar factores de ajuste, en relación con las mediciones de terreno en una base anual.

Datos medidos en Tierra vs Datos Satelitales				Datos medidos en Tierra vs Datos Satelitales		
Estación	Datos medidos en Tierra	Datos Satelitales	Error Relativo %	Datos medidos en Tierra	Datos Satelitales	Error Relativo %
Abra Pampa	2104.10	2321.00	10	2104.10	1943.26	-7
El Pongo	1568.46	1837.48	17	1568.46	1568.02	0.0
La Viña	1530.37	1860.45	21	1530.37	1577.83	3
El Rincón	2196.98	2413.59	10	2196.98	2035.28	-7
Etchart	1639.14	2114.23	29	1639.14	1786.53	9

7.2.4 Validación del método

En primer lugar, la similitud de los valores de MBE% y RMSE% utilizados en este trabajo y en otros documentos de validación en Europa, evidencian una buena calidad de reproducción de la fuente de datos (Ramirez Camargo et al., 2015; Ramirez Camargo et al., 2016).

En segundo lugar, se toma como referencia un estudio realizado en la misma área de trabajo, que compara la radiación solar media mensual medida y los valores mensuales estimados de tres bases de datos satelitales (Salazar et al., 2013). Las fuentes satelitales consideradas son: SWERA, SoDa y SSE y los resultados del RMSE% son 12%, 23% y 23%, respectivamente. Los resultados del RMSE% de LSA SAF de la estación meteorológica más cercana a la considerada por Salazar (Salazar et al., 2013) alcanza un resultado igual al 7%. Esto permite inferir que LSA-SAF presenta superioridades en rendimiento y en resolución espacial con respecto a las fuentes satelitales SWERA, SoDa y SSE.

Los valores de error relativo entre la radiación solar anual de los valores de estaciones meteorológicas y los datos satelitales ajustados para todas las estaciones están dentro del 10%, destacándose la estación de El Pongo donde este error estimado se aproxima a cero. En general, el rendimiento de los datos de satélites utilizados y ajustados para el atlas de radiación solar de Salta resultó muy satisfactorio. No obstante, se realizó un análisis grupal a fin de explicitar las potenciales causas de variabilidad e incertezas en la evaluación de la radiación solar por medio de imágenes satelitales, identificándose:

- Variaciones climáticas interanuales: Dependen de las variaciones de la radiación solar entre años para un mismo sitio. Esta variación puede disminuirse ampliando el periodo temporal de análisis de datos.

- Modelo satelital de estimación de la radiación solar: Es intrínseco a la fuente de datos utilizada para el mapeo e incluye las variables geométricas de ángulos de incidencia del sol y atmosféricas (capa que atraviesa la radiación) antes de incidir en la superficie terrestre.
- Dispersión estadística: Hace referencia al grado de variación que hay en un conjunto de datos. Esta variabilidad fue abordada a partir del desarrollo de factores de ajuste para los meses de verano.
- Imprecisiones en mediciones terrestres derivadas de: equipos de medición (calibración, instalación y mantenimiento) y la gestión de datos (precisión de las mediciones, procesamiento de datos, sistema de recolección y almacenamiento). No obstante, vale aclarar que esta variabilidad en los datos terrestres no influye en los mapas de radiación generados, ya que los mismos son desarrollados en función de los datos satelitales. En consecuencia, los mapas generados sólo reflejan la incerteza inherente a los algoritmos de cálculo del satélite, la variabilidad climática interanual y la dispersión estadística asociada a los datos.

En tercer lugar, aunque existen muchos ejemplos de trabajos que intentan validar los datos satelitales de radiación solar con mediciones de estaciones meteorológicas (Grossi Gallegos and Righini, 2007; Suárez et al., 2014; Pillot et al., 2015), no hay nada acordado respecto a la cantidad de estaciones necesarias para un área determinada. Sin embargo, es evidente que cuantos más datos de estaciones se tenga se logrará una evaluación más exhaustiva. En el presente trabajo, el número de mediciones de terreno y el período de tiempo adoptados se consideran satisfactorios. Existen numerosos trabajos (Suárez et al., 2014; Pillot, 2015; Carmona et al., 2017) que consideran una superficie territorial más amplia que Salta y los datos de radiación satelital se validaron utilizando menos mediciones con un período de tiempo más corto. Por otro lado, la presente metodología propuesta mejoraría los métodos de comparación muy difundidos entre actores fotovoltaicos, como la interpolación de mediciones de estaciones meteorológicas (Righini et al., 2005; Freitas et al., 2015) o datos basados en imágenes satelitales con escasa o ninguna validación en el área en cuestión (Carmona et al., 2017; Global Solar Atlas, 2018; SOLARGIS, 2018).

En cuarto lugar, las capas de radiación solar provenientes principalmente de imágenes satelitales con alta resolución espacial permiten un análisis espacial más detallado del comportamiento del recurso solar en toda la provincia. Este estudio presenta una mejora considerable en la resolución espacial en comparación con trabajos anteriores, donde la provincia estaba caracterizada por cuatro isolíneas de radiación (Grossi Gallegos and Righini, 2007).

Finalmente, en el contexto académico local, se han realizado algunas validaciones posteriores, obteniéndose muy buenos ajustes (Dellicompagni, 2018). Actualmente, los mapas de radiación solar se están utilizando en el diseño de prototipos, la instalación de plantas solares fotovoltaicas y los procesos de planificación y gestión energética de la provincia.

7.3 Reflexión del capítulo

En el presente capítulo se abarcó el desarrollo de los mapas de radiación solar de la provincia de Salta. Entre los resultados más novedosos se distingue el uso de datos satelitales de gran definición espacio-temporal, la construcción y combinación de software de licencia libre y la adecuación del atlas en diversos formatos para garantizar el acceso a los diversos grupos de actores involucrados.

En cuanto a la metodología empleada, la misma presenta beneficios superiores en relación con los análisis puntuales de la radiación solar o los mapas de radiación solar basados en métodos de interpolación con pocas estaciones meteorológicas. Además, mejora significativamente la precisión espacial al cubrir todo el territorio de la provincia y agiliza la ubicación de sitios con alto potencial solar fotovoltaico y térmico para diferentes aplicaciones (sistemas fotovoltaicos con conexión a red o aislados, mejoramiento de sistemas solares térmicos de producción primaria de pequeña y gran escala, entre otros). La escala temporal (diario, mensual y anual) utilizada en los resultados es adecuada para el pre-diseño de múltiples tecnologías solares.

Finalmente, la información ahora disponible en formato geoespacial incorpora las ventajas que ofrece la tecnología SIG para utilizar las fuentes de energía solar de manera adecuada, respetando las potencialidades y limitaciones de cada región geográfica y entorno territorial en general.

Como un emergente clave de la investigación, la experiencia de mapeo de la radiación solar a partir de datos satelitales para la provincia de Salta ha sido ampliada a la región NOA, lográndose dos aportes concretos que exceden el desarrollo de esta tesis:

- Servicio Tecnológico de Alto Nivel (STAN) “Elaboración de mapa solar de la provincia de Jujuy”. (2016) Responsables: Belmonte, S. y J. Franco. ST 2865 INENCO-CONICET. Secretaría de Energía de la provincia de Jujuy - Grupo PEyGeT (INENCO) Adjudicación provincial por Res. Nº 130 –ISPTyV. Finalizado.
- Servicio Tecnológico de Alto Nivel (STAN) “Elaboración del mapa solar de la provincia de Santiago del Estero”. (2017-2018) Responsables: Franco J. y S. Belmonte. Contrato de Locación de Obra concertado entre la Secretaria de Desarrollo, Ciencia, Tecnología y Gestión Pública de la Provincia de Santiago del Estero y grupo PEyGeT (INENCO). En fase final de elaboración. En este caso los mapas fueron desarrollados a partir del procesamiento de otra fuente de datos satelitales (ERA 5) provistos por el Centro Europeo de Pronósticos Meteorológicos de Medio Alcance (ECMWF por sus siglas en inglés) para el período 2010-2016, utilizando el servicio Copernicus Climate Change Service Information 2017

Estos nuevos desarrollos indican una fuerte necesidad de contar con datos de esta naturaleza para la planificación de la energía solar, lo que es avalado por el interés de las instituciones locales, a la vez que evidencian el alto potencial de las imágenes satelitales y el procesamiento SIG como nuevas tecnologías para cubrir este vacío de información a nivel regional.

7.4 Referencias del capítulo

- Adam, K.; Hoolohan V.; Gooding J.; Knowland, T. y C.S. Bale, A.S. Tomlin. "Methodologies for city-scale assessment of renewable energy generation potential to inform strategic energy infrastructure investment, Cities". 54 45–56. 2016.
- Altamirano, M.; Hong, M. ; Fernández, C. ; Bárcena, H. ; Hoyos D. ; Saravia, L. ; Flores Larsen, S. ; Gea, M. ; Placco, C. y Suligoy, H. "Puesta a punto y simulación del concentrador Fresnel lineal de 86 m² instalado en San Carlos, Salta." *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, 17, pp. 04.35-04.43. 2013.
- Arnette A. "A spatial DSS for the development of multi-source renewable energy systems, dissertation". Virginia Polytechnic Institute and State University. 2010.
- Belmonte S.; Franco J. ; Viramonte J. y Núñez V. "Integración de las Energías Renovables en procesos de Ordenamiento Territorial". *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, 13, pp. 07.41-07.48. 2009.
- Belmonte, S. y Franco, S. "Experiencias de Energías Renovables en Argentina. Una mirada desde el territorio". EUNSA. (2017).
- Belmonte, S., Escalante K. N. y Franco J.. "Shaping changes through participatory processes: Local development and renewable energy in rural habitats." *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 45 278-289. 2015.
- Belmonte, S.; Núñez, V.; Franco, J. y Viramonte J. "Mapas de radiación solar para el Valle de Lerma (Salta – Argentina)". *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, 10, pp. 11.49-11.56. 2006.
- Belmonte, S., Núñez, V., Viramonte, J. y Franco J. "Potential renewable energy resources of the Lerma Valley, Salta, Argentina for its strategic territorial planning". *Renewable and Sustainable Energy Review*, 13 pp. 1475-1484. 2009.
- Bosch, J. L.; Batlles, F.J.; Zarzalejo, L.F. y López, G. "Solar resources estimation combining digital terrain models and satellite images techniques". *Renewable Energy*, 35 (2010), pp. 2853-2861.
- Brito, M.C.; Gomes, N.; Santos, T. y Tenedório J.A. "Photovoltaic potential in a Lisbon suburb using LiDAR data". *Solar Energy*. 86: 283–288. 2012
- Camargo, L. R. y Dorner, W. "Integrating satellite imagery-derived data and gis-based solar radiation algorithms to map solar radiation in high temporal and spatial resolutions for the province of Salta, Argentina". *Earth Resources and Environmental Remote Sensing/GIS Applications VII*,. 10.1117/12.2242042. 2016.
- Camargo, L.R.; Zink, R.; Dorner, W.G. y Stoeglehner, "Spatio-temporal modeling of roof-top photovoltaic panels for improved technical potential assessment and electricity peak load offsetting at the municipal scale". *Computers, Environment and Urban Systems*. 52 58–69. 2015.
- Carmona, F.; Orte, P.F.; Rivas, R.; Wolfram, E. y Kruse, E. "Development and Analysis of a New Solar Radiation Atlas for Argentina from Ground-Based Measurements and ERES_SYN1deg data." *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*. <https://doi.org/10.1016/j.ejrs.2017.11.003>. 2017.

- Cran.r-project.org. "Bindings for the 'Geospatial' Data Abstraction Library". R package rgdal version 1.2-16. URL: <https://cran.r-project.org/web/packages/rgdal/index.html>.(accedido el 28/11/2018).
- Cran.r-project.org. "Classes and Methods for Spatial Data". R package sp version 1.2-7. URL: <https://cran.r-project.org/web/packages/sp/index.html> (accedido el 28/11/2018).
- Cristóbal, J. y Anderson, M. C. "Regional scale evaluation of a MSG solar radiation product for evapotranspiration modeling". Hydrology and Earth System Sciences Discussions, 9 , pp. 8905–8939. 2012.
- Dellicompagni, P. "Comparison of Solar Irradiation GIS with ground data for San Carlos (Salta) station". Sin publicar, INENCO. 2018.
- Duffie, J. y Beckman, W. "Solar Engineering of Thermal Processes". Chichester: John Wiley & Sons Ltd. 2013.
- European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF). "Advancing global NWP through international collaboration". <https://www.ecmwf.int/>(accedido el 28/11/2018).
- European Organization for the Exploitation of Meteorological Satellites (EUMETSAT). Satellite Application Facility on Land Surface Analysis (LSA SAF). URL: <https://landsaf.ipma.pt/en/>
- Figueroa A. "Plataforma de apoyo para la decisión de implementar sistemas de energías renovables no convencionales en la operación de equipos de riego tecnificado". Ph.D. Thesis, Universidad de Chile 2010.
- Franco, J. y Belmonte, S. "Sistema de soporte para la toma de decisiones en energías renovables (Salta - Argentina)". Proyecto de Investigación Plurianual PIP CONICET N°035 INENCO, CONICET, Universidad Nacional de Salta. 2017.
- Freitas, S., Catita, C., Redweik, P. y Brito, M.C. "Modelling solar potential in the urban environment: State-of-the-art review".Renewable and Sustainable Energy Reviews. 41:915–931. 2015.
- GDAL. GDAL - Geospatial Data Abstraction Library. URL: <http://www.gdal.org/> (accedido el 28/11/2018).
- Geiger, B., Meurey, C., Lajas, D., Franchiste, L. y Hautecoeur, O. "Product User Manual: Down welling Surface Shortwave Flux (DSSF), in: Satellite Application Facility on Land Surface Analysis". Centre Nateorologiques of Meteo-France and The EUMETSAT, National de Recherches Me. URL: <http://landsaf.meteo.pt/GetDocument.do?id=449> (accedido el 28/11/2018).
- Global Solar Atlas - Solar Measurement Sites. <http://globalsolaratlas.info/knowledge-base/esmap-sites> (accedido el 28/11/2018).
- Global Solar Atlas. URL: <http://globalsolaratlas.info/> (accedido el 28/11/2018).
- Grossi Gallegos, H. "Distribución de la radiación solar global en la República Argentina II". Cartas de radiación. Energías Renovables y Medio Ambiente, 5 (1998), pp. 33-42.
- Grossi Gallegos, H. y Righini, R. "Atlas de Energía solar de la República Argentina. Universidad Nacional de Luján". <http://www.gersol.unlu.edu.ar/tecnologia.html#atlas>. 2007.

- Guerra, A y Dominguez J. "Application of geographical information systems to rural electrification with renewable energy sources". *Renewable Energy*, 30, pp. 1897-1912. 10.1016/j.renene.2004.12.007. 2005.
- Hijmans, R. "Geographic Data Analysis and Modeling". R package raster version 2.6-7. <https://cran.r-project.org/web/packages/raster/index.html> (accedido el 28/11/2018).
- Hofierka, J. y Kaňuk, J. Assessment of photovoltaic potential in urban areas using open-source solar radiation tools, *Renewable Energy*. 34 2206–2214. 2009.
- Ineichen, P.; Barroso, C.S.; Geiger, B.; Hollmann, R.; Marsouin, A. y Mueller, R. "Satellite Application Facilities irradiance products: hourly time step comparison and validation over Europe". *Int. J. Remote Sens.*, 30, pp. 5549-5571. 10.1080/01431160802680560. 2009
- Instituto Geográfico Nacional. SIG 250. URL: <http://www.ign.gob.ar/sig>. (Accessed June 2, 2018)
- Iziomon, M. y Mmayer, H. "Performance of solar radiation models - a case study". *Agricultural and Forest Meteorology*, 110, pp.1-11. 2001.
- Journée, M. y Bertrand C. "Improving the spatio-temporal distribution of surface solar radiation data by merging ground and satellite measurements". *Remote Sensing of Environment*, 114 (11), pp. 2692 - 2704. 10.1016/j.rse.2010.06.010. 2010.
- Ley 26190. Régimen de Fomento Nacional para el uso de Fuentes Renovables de Energía destinada a la Producción de Energía Eléctrica. Modificación. <http://servicios.infoleg.gob.ar/infolegInternet/anexos/250000-254999/253626/norma.htm>. (accedido el 28/11/2018).
- Molina, A., Falvey, M. y Rondanelli R. "A solar radiation database for Chile". *Scientific Reports*, 7. Article number: 14823. 10.1038/s41598-017-13761-x . 2017.
- Moreno, A., Gilabert, M. A., Camacho y F., Martínez, B. "Validation of daily global solar irradiation images from MSG over Spain". *Renewable Energy*, 60, pp. 332-342. 10.1016/j.renene.2013.05.019. 2013.
- NASA. ASTER Global Digital Elevation Map. URL: <https://asterweb.jpl.nasa.gov/gdem.asp>
- National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA). Geostationary Satellite Server GOES. URL: <http://www.goes.noaa.gov/>.
- National Renewable Energy Laboratory (NREL) Home Page | NREL. <https://www.nrel.gov> (accedido el 28/11/2018).
- Palmer, D.; Cole, I.; Betts, T. y Gottschalg, R. Interpolating and Estimating Horizontal Diffuse Solar Irradiation to Provide UK-Wide Coverage: Selection of the Best Performing Models. *Energies*, 10 (2), 181. 2017.
- Perez, R.; Seals, R. y Zelenka, A. "Comparing satellite remote sensing and ground network measurements for the production of site/time specific irradiance data". *Solar Energy*, 60, pp. 89-96. 1997.

- Pillot, B., Muselli, M., Poggi, P. y Dias, J.B. "Satellite-based assessment and in situ validation of solar irradiation maps in the Republic of Djibouti, Solar Energy". 120, 603–619. 2015.
- Podesta, G. P.; Nuñez, L., Villanueva C. A y Skansi, M. A. "Estimating daily solar radiation in the Argentine Pampas". *Agricultural and Forest Meteorology*, 123, pp. 41-53. 2004.
- PVGIS photovoltaic software: free tool to assess the PV output power in europe, africa and asia for electrical stand alone or connected to the grid systems, <http://photovoltaic-software.com/pvgis.php> (accedido el 28/11/2018).
- Quijano Hurtado, R. y Domínguez Bravo, J. "Proyecto integrado para la planificación energética y el desarrollo regional de energías renovables en Colombia basado en SIG". *Difusión Científica de la ULPGC*. ISBN: 978-84-96971-53-0. 2008.
- Raichijk, C. "Comparación de valores satelitales de irradiación solar global con datos de tierra en la República Argentina". *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, 13: 11.07-11.10. 2009.
- Ramachandra, T.V. y Shruthi, V.B. "Spatial mapping of renewable energy potential". *Renew Sustain Energy Rev* 11: 1460–1480. 2007.
- Ramirez Camargo, L.; Altamirano, M.; Belmonte, S. y Dorner, W. "Comparación de fuentes satelitales, de re-análisis y métodos estadísticos para el mapeo de la radiación solar en el valle de Lerma (Salta-Argentina)". *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, 19, pp. 11.19-11.30. 2007.
- Ramirez Camargo, L., Dorner, W. "Comparison of satellite imagery based data, reanalysis data and statistical methods for mapping global solar radiation in the Lerma Valley (Salta, Argentina)". *Renewable Energy*, 99, pp. 57–68. 10.1016/j.renene.2016.06.042. 2016.
- Ramirez Camargo, L.; Franco, J. ; Sarmiento Barbieri, N.M. ; Belmonte, S. ; Escalante, K. ; Pagany, R. y Dorner, W., Technical, economical and social assessment of photovoltaics in the frame of the net-metering law for the province of Salta, Argentina, *Energies*. 9 133. 2016.
- Ramirez Camargo, L.; Zinka, R.; Dorner, W. y Stoeglehner, G. "Spatio-temporal modeling of roof-top photovoltaic panels for improved technical potential assessment and electricity peak load offsetting at the municipal scale". *Computers, Environment and Urban Systems*, 52, pp. 58-69. <https://doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2015.03.002> cambiar por el nuestro. 2015.
- Ramirez-Rosado, I. J ; García-Garrido, E.; Fernández-Jiménez, L.; Zorzano-Santamaría, P. J; Monteiro, C. y Miranda, V. "Promotion of new wind farms based on a decision support system". *Renewable Energy*, 33, pp. 558–566. 2008.
- Reda, I. y Andreas, A. "Solar Position Algorithm for Solar Radiation Applications". *NREL Report No. TP-560-34302*, 55 p. 2003.
- Rehmana S. y Ghori S. G. "Spatial estimation of global solar radiation using geostatistics. *Renewable Energy*, 21", pp. 583-605. 2000.

- Righini, R. y Grossi Gallegos, H. "Aproximación a un trazado de nuevas cartas de irradiación solar para Argentina". *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, 7 (2), pp. 11.07-11.11. 2003.
- Righini, R., Grossi Gallegos, H. y Raichijk C. "Approach to drawing new global solar irradiation contour maps for Argentina". *Renewable Energy*, 30 (8), pp.1241–1255. 2005.
- Roerink, G. J.; Bojanowski, J. S.; Wit, A. J. W.; Eerens, H.; Supit, I.; Leo, O. y H. L. Boogaard. "Evaluation of MSG-derived global radiation estimates for application in a regional crop model". *Agric. for Meteorol* 160, pp. 36-47. 10.1016/j.agrformet.2012.02.006. 2012.
- R-project.org. R: The R Project for Statistical Computing. <https://www.r-project.org/> (accedido el 28/11/2018).
- R-Studio. R-Studio Home. URL <https://www.rstudio.com> (accedido el 28/11/2018).
- Ruetsch, L.; Lema, A.; Pontin, M. y Morsetto, J. Cálculo de la utilizabilidad para colectores solares planos orientados al Norte e inclinados 45°. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, 14, pp. 08.09-08.15. 2010.
- Rylatt, M.;Gadsden, S. y Lomas, K. "GIS-based decision support for solar energy planning in urban environments". *Computers, Environment and Urban Systems*. 25: 579–603. 2001.
- Salazar, G.; Hernández, A. y Saravia, L. "Practical models to estimate horizontal irradiance in clear sky conditions: Preliminary results". *Renewable Energy*, 35 (11), pp. 2452-2460. 2010.
- Salazar, G.; Hernández, A., Echazú, R., L. Saravia y Romero, G. "Comparison Between Measured Mean Monthly Solar Insolation Data and Estimates from Swera Database for Salta City (Northwestern Argentina)". *Electronic Journal of Energy & Environment*. (2013). <https://doi.org/10.7770/ejee-V1N3-art681>.
- SOLARGIS. Solar resource maps and GIS. URL: <https://solargis.com/maps-and-gis-data/overview/> (accedido el 28/11/2018).
- Suárez, R.A.; Abal, G.; Musé y Siri, R. Satellite-derived solar irradiation map for Uruguay, *Energy Procedia*. 57 1237–1246. 2014.
- Thomas, C.; Wey, E.; Blanc, P. y Wald, L. "Validation of three satellite-derived databases of surface solar radiation using measurements performed at 42 stations in Brazil". *Advances in Science and Research*. 13: 81–86. doi:10.5194/asr-13-81-2016. 2016.
- Voivontas, D., Assimacopoulos, D., Mourelatos, A. y Corominas, J. "Evaluation of renewable energy potential using GIS decision support system". *Renewable Energy*, 13, pp. 333-344. 1998.
- Zhou, C. y Wang, K. "Evaluation of surface fluxes in ERA-interim using flux tower data". 29:1573e1582, <http://dx.doi.org/10.1175/JCLI-D-15-0523.1>. 2016.

8. SISTEMA DE INFORMACIÓN SOLAR SALTA - SISol

El Sistema de Información Solar de Salta (SISol) es un Sistema de Información Web de consulta espacial y temporal de datos de radiación solar y temperatura que permite realizar evaluaciones técnico-financieras para la instalación de sistemas solares (paneles fotovoltaicos y calefones solares). Al igual que el Atlas de Radiación Solar, este desarrollo surge como respuesta directa a las prioridades identificadas en conjunto con otros actores públicos y privados, en los espacios de interacción y vinculación interinstitucional del ámbito local y regional.

Esta aplicación web se constituye en una herramienta de soporte a las decisiones (SSD) orientada a los ámbitos gubernamentales, científico tecnológicos y público en general. Al considerar que los potenciales usuarios tienen distintos niveles de conocimiento sobre ER, se diseñaron módulos y funcionalidades específicas, que permitieran satisfacer la variedad de necesidades de los diversos sectores.

8.1 Metodología de trabajo

8.1.1 Antecedentes de sistemas computacionales para ER

La complejidad del desarrollo de un SSD para ER requirió de un estudio detallado de las ER y el desarrollo previo de diversas herramientas computacionales que sirvieran de base para el nuevo sistema. En este sentido, como antecedentes personales en el desarrollo de sistemas computacionales en ER, se distinguieron dos desarrollos: Optimus-Simusal y Software INTI AR. Ambos procesos aportaron en la comprensión de la lógica de programación, requerimientos y cálculos específicos para sistemas informáticos relacionados a ER.

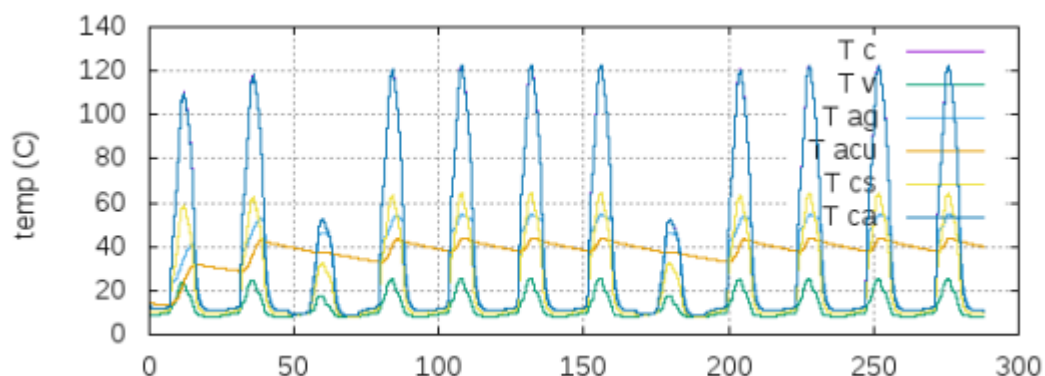
Optimus-Simusal

Optimus es un software de escritorio, desarrollado para encontrar equipos solares óptimos de acuerdo a requerimientos propios del usuario. Dichos requerimientos se traducen en una función de maximización que utiliza al programa Simusal (<https://www.simusal.org>) de manera repetitiva, incorporando variantes en el diseño del equipo solar, hasta alcanzar valores máximos en la función definida previamente. Los métodos de optimización que utiliza son:

- Nelder-Mead, algoritmo que maximiza una función objetivo en un espacio multidimensional continuo (Williams, 2005).
- Algoritmo Genético: Los algoritmos genéticos, llamados así porque se inspiran en la evolución biológica y su base genético-molecular, son métodos adaptativos que pueden usarse para resolver problemas de búsqueda y optimización. Un algoritmo genético parte de una base de “ejemplares” y decide cuáles de ellos generan descendencia para la nueva iteración. Se ejecuta para un número discreto de pasos de tiempo, llamados generaciones. Lo que ocurre durante cada generación puede variar mucho dependiendo de la estrategia de selección que se esté usando.

De esta manera Optimus da respuesta a dos problemas: el de un usuario que quiere seleccionar entre equipos diferentes preexistentes y el problema de un fabricante que quiere confeccionar un equipo óptimo para ciertas condiciones dadas (Saravia y Sarmiento, 2017). Este software se encuentra bajo licencia GPLv2 y puede ser libremente descargado del sitio de Simusol. La Figura 8.1 muestra un ejemplo de salida del programa, con el rendimiento de temperatura de diferentes modelos de un calefón solar para un periodo de 300 horas.

Figura 8.1 Ejemplo de salida del programa Optimus-Simusol.



Software INTIAR

El software se encuentra corriendo en un servidor web bajo el dominio: www.inti-ar.com, su acceso es privado para garantizar la seguridad de la información. Sin embargo, el código de la aplicación está licenciado GPLv2 por lo que su uso, modificación, réplica y descarga están permitidos e incluso alentados (ANEXO DIGITAL 1 de la tesis). Las principales funcionalidades de la aplicación son:

- a- Control detallado de los elementos almacenados en stock, tanto de materia prima como productos a vender.
- b- Actualización automática de la materia prima y los productos de acuerdo a las compras, ventas o producción de equipos.
- c- Capacidad de armar presupuestos de los distintos productos ofrecidos por la empresa, con información de precios detallada y actualizada.
- d- Apoyo en la gestión contable al registrar todos los movimientos de la empresa.
- e- Registro de clientes y proveedores.

Estas funcionalidades, se implementan a nivel programación en tres módulos: stock, presupuesto y gestión de ventas; los mismos se encuentran vinculados entre sí y con la base de datos. La Figura 8.2. muestra algunas de las pantallas del programa.

Figura 8.2 Pantallas del software de INTI-AR.

REGISTRANDO: Productos Solares

Buscar productos solares (ingresar nombre del producto)

Acción	Nombre Producto	Características Producto	Cantidad de Partes	Imagen	Total Materiales \$	Monto de Obra \$	Ganancia %	Estado	Materiales
Modificar	BASE SOLAR	Las medidas son...	2		678.87	0	20	Activo	Ver Materiales>
Modificar	CALIFONES CHENOS 100LT	Medidas y medidas...	0		6800	0	10	Activo	Ver Materiales>
Modificar	CALIFONES SOLARES	Cálculo Solar Fin	3		3871.34	12000	30	Activo	Ver Materiales>
Modificar	COCINA MEJORADA A LENA DE 80 LT.	Las medidas son...	0		512.12	0	30	Activo	Ver Materiales>
Modificar	DESTILADORES SOLARES	Las medidas son...	0		1483.3	22500	30	Activo	Ver Materiales>

REGISTRANDO: PREUPUESTOS

Buscar presupuesto (ingresar nombre del cliente)

Acciones	Fecha Presup.	Cliente - Tel/Celu.	Precio Total Presup.	Estado
	2017-04-18	JUAN PEREZ - 155982605	6416	Guardado
	2017-04-18	MARIA OCHOA - 387-155982605	36407.17	Guardado
	2017-04-16	JUAN PEREZ - 155982605	42823.17	Guardado
	2017-04-15	MARIA OCHOA - 387-155982605	36407.17	Guardado
	2017-04-14	JUAN PEREZ - 155982605	59982.34	Entregado

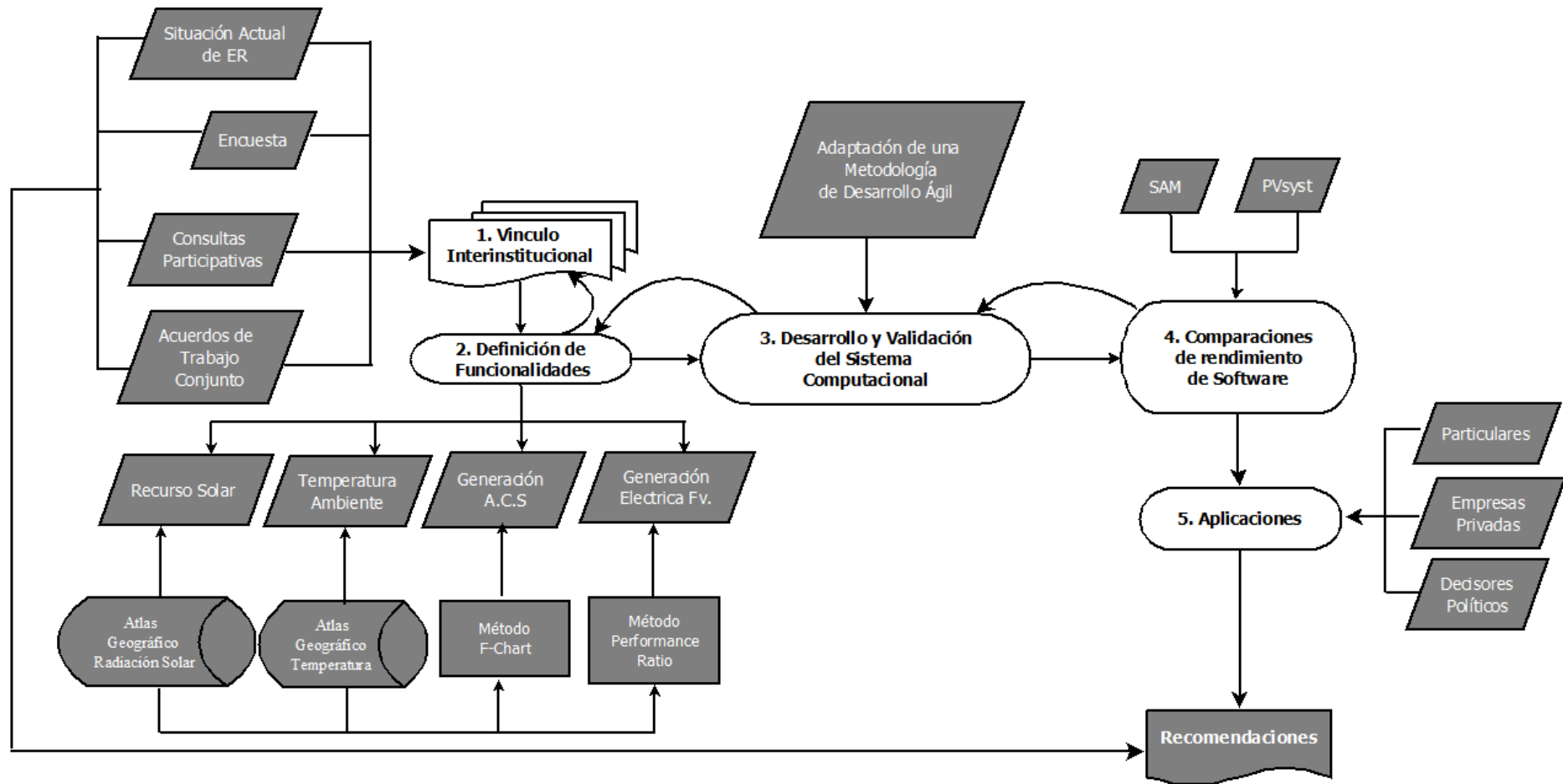
8.1.2 Proceso metodológico

Para el desarrollo de SISol, en un primer momento se establecieron acuerdos entre al ámbito científico-tecnológico y el sector gubernamental que permitieron definir el alcance, el objeto, las funcionalidades y las responsabilidades de cada miembro del equipo de trabajo. A continuación, se realizó la construcción teórica de las funcionalidades y la validación de los modelos de cálculo implementando cada función como un módulo programado y alojado en el servidor web. Como tercer paso, se construyó el diseño visual, se especificaron las interacciones entre las acciones posibles del usuario y las respuestas del sitio y se establecieron los mecanismos de comunicación entre las funcionalidades de la pantalla final web y el servidor.

Una vez completadas las acciones previas, se desarrolló el sistema computacional completo y se lo testeó por un número acotado de usuarios. Finalmente, se llevaron a cabo varias estrategias de difusión entre los interesados tales como: ruedas de prensa, difusión televisiva y radial, publicaciones nacionales e internacionales, seminarios científico-académicos y publicación del sitio web en otras páginas vinculadas a la temática. Sin embargo, se considera que su mayor difusión se alcanzará a través del “boca en boca” entre los interesados.

En la Figura 8.3 se presenta un esquema del proceso metodológico.

Figura 8.3 Diagrama del proceso metodológico.



Acuerdos de trabajo conjunto

SISol es el resultado de un largo camino de trabajo conjunto y sostenido en el tiempo, entre el grupo de investigación y la Secretaría de Energía de la provincia de Salta. Su desarrollo está enmarcado en un *Convenio de Investigación y Desarrollo* RES 3157/16 y un *Convenio de Asistencia Técnica* concertados entre dichas instituciones.

Diseño, desarrollo y validación del sistema

A. Aplicación de herramientas de metodologías ágiles

La herramienta de soporte es una aplicación web, por ese motivo se definió el uso de una metodología de desarrollo de software. En este caso, se utilizó la metodología ágil de desarrollo de software: Crystal Clear, de la familia de metodologías Crystal creadas por Alistair Cockburn (Cockburn, 2017) ya descrita en el apartado 2.3. El grupo de desarrollo, es un grupo de investigación consolidado con un nivel de organización estable enmarcado dentro de un Instituto de Investigación, pero con moderada experiencia en el desarrollo de software. Para el desarrollo de SISol se adoptó esta metodología por las características del grupo de desarrollo (3 investigadores, 2 desarrolladores, 2 funcionarios gubernamentales) y el programa objetivo de desarrollo no crítico (herramienta web libre para el soporte a la decisión de instalación de equipos solares). Tal como lo sugiere el autor de la metodología se tuvieron en cuenta las siguientes propiedades:

- **Comunicación Osmótica:** El grupo de desarrollo se ubica espacialmente en dos oficinas continuas una al lado de la otra y se caracteriza por el diálogo constante, donde la información circula por todos los participantes. Además del espacio físico, se cuenta con una lista de mail en común y un grupo de whatsapp lo que permite guardar registros de la información y la garantía de estar todos actualizados en un cierto nivel.
- **Mejoría Reflectante:** Las reuniones del grupo de desarrollo de SISol fueron inicialmente de manera quincenal y luego semanales. En las mismas se presentaban el avance del software, lo que permitía la corrección temprana de errores de diseño de software o bien del método empleado para el cálculo de la estimación. Compartir el mismo espacio y tiempo de desarrollo entre los integrantes del grupo de investigación permitía la adecuación permanente de la metodología de trabajo maximizando la producción en el tiempo disponible.

Las principales herramientas de metodologías ágiles usadas durante el desarrollo de SISol fueron:

1. Programación de a pares: Los dos diseñadores-programadores, codificaron SISol de esta manera desde su nacimiento hasta puesta en funcionamiento, se notó el incremento en la productividad y en la calidad del código frente a otras formas de programar.

2. Reuniones Diarias: En las mismas se acordaban metodologías de trabajo, se sintetizaban las tareas realizadas hasta el momento, se enumeraban las dificultades encontradas para llevar adelante los objetivos propuestos y se diseñaban los planes de actividades para la etapa siguiente.

3. Radiador de Información: En las oficinas del grupo de investigación se exhibía información sobre el proceso de desarrollo, método empleado para el cálculo de la estimación y/o diagramas de ciclo de software. A su vez, el software fue testeado cada quince días con personal perteneciente a la Secretaría de Energía del gobierno de la provincia de Salta lo que permitió la detección temprana de errores y la adecuación del programa para el cumplimiento de los requerimientos del software.

B. Comparación con otros sistemas

Si bien, se realizaron testeos manuales en cada paso de la implementación de los modelos de cálculo a su vez se realizaron comparaciones con las salidas de software reconocidos internacionalmente y utilizados tanto a nivel regional como internacionalmente. Los programas usados para la comparación fueron:

- **System Advisor Model (SAM):** Se trata de un modelo computacional que calcula el rendimiento y las métricas financieras de los sistemas de energía renovable. Los desarrolladores de proyectos, los legisladores, los fabricantes de equipos y los investigadores utilizan los resultados de SAM para evaluar opciones financieras, tecnológicas y de incentivos para proyectos de energía renovable. SAM simula el rendimiento de sistemas fotovoltaicos, de concentración solar, de calentamiento térmico de agua, sistemas eólicos, geotérmicos, basados en biomasa y convencionales. El modelo financiero puede representar estructuras financieras para proyectos que compran y venden electricidad a precios minoristas (residenciales y comerciales) o venden electricidad a un precio determinado en un acuerdo de compra de energía (utilidad).
- **Photovoltaic Software (PvSyst):** PvSyst es una herramienta de modelado comúnmente usada que considera una serie de factores de rendimiento. PvSyst está diseñado para ser utilizado por arquitectos, ingenieros e investigadores. También es una herramienta educativa muy útil. Incluye un menú de ayuda contextual detallado que explica los procedimientos y modelos que se utilizan y ofrece un enfoque fácil de usar con una guía para desarrollar un proyecto.

Tanto SAM como PvSyst tienen versiones gratuitas, sin embargo, para realizar cálculos específicos en un determinado lugar es necesario comprar los datos climáticos y de radiación solar de dicha locación. Las bases de datos usados por ambos programas son de origen satelital.

C. Puesta a punto del sistema-y aplicación del sistema

Una vez desarrollado el sistema computacional, se seleccionó un grupo de usuarios, con relación cercana a la Secretaría de Energía y el grupo de investigación con el objeto de testear completamente el sistema desde su amigabilidad hasta una evaluación de rendimiento. Fueron 12 las personas seleccionadas quienes debían distinguir entre errores encontrados en la parte visual, de comportamiento o reportes que entregaba el sistema. Para ello, debían completar un formulario generado para tal fin en un periodo de tiempo determinado. Los errores fueron listados y corregidos en orden de importancia.

Asimismo, se probó el rendimiento del servidor al realizar pruebas de simulación y de pedido de reportes de cuatro usuarios conectados en un mismo momento.

8.1.3 Herramientas de programación utilizadas

SISol requirió el uso de distintas herramientas de programación y la interacción entre ellas. En un contexto computacional, una clasificación clásica para el uso de herramientas es tener en cuenta el momento en el que se usan: si es la parte del software que interactúa con el usuario se lo conoce generalmente como front-end (parte delantera) mientras que si nos encontramos del lado del servidor procesando las peticiones del usuario estaremos en el back-end (parte trasera).

Para el front-end se utilizaron:

- Librerías: VueJs, JQuery y Bootstrap, las cuales fueron adaptadas para obtener el diseño establecido para garantizar la amigabilidad del producto.
- HyperText Markup Language: Se utilizó la versión 5, principalmente para la estructura del sitio web.
- Cascading Style Sheets: Se empleó la versión 3 para definir el estilo y los efectos de las múltiples páginas del sitio web.
- Javascript: fue utilizado como lenguaje de programación principal para la conexión de módulos y con el servidor espacial GEOSERVER.

En el back-end:

- Perl: Se utilizó este lenguaje principalmente para el desarrollo de los modelos de simulación de generación de energía fotovoltaica y térmica.
- Perl-Common Gateway Interface (CGI): Es utilizado como método de interacción entre el servidor web con los programas del front-end.
- GeoServer (motor de base de datos): Se empleó este servidor por su eficiencia para el manejo de contenido de capas espaciales.

Todas las herramientas utilizadas para el desarrollo de SISol son open source, es decir que pueden ser utilizadas, modificadas y publicadas. Asimismo, SISol fue licenciado bajo GPLv2, por lo que su código de desarrollo puede ser copiado, manipulado, utilizado y modificado por cualquier persona siempre y cuando las reproducciones sucesivas se mantengan bajo la misma licencia.

8.2. Resultados

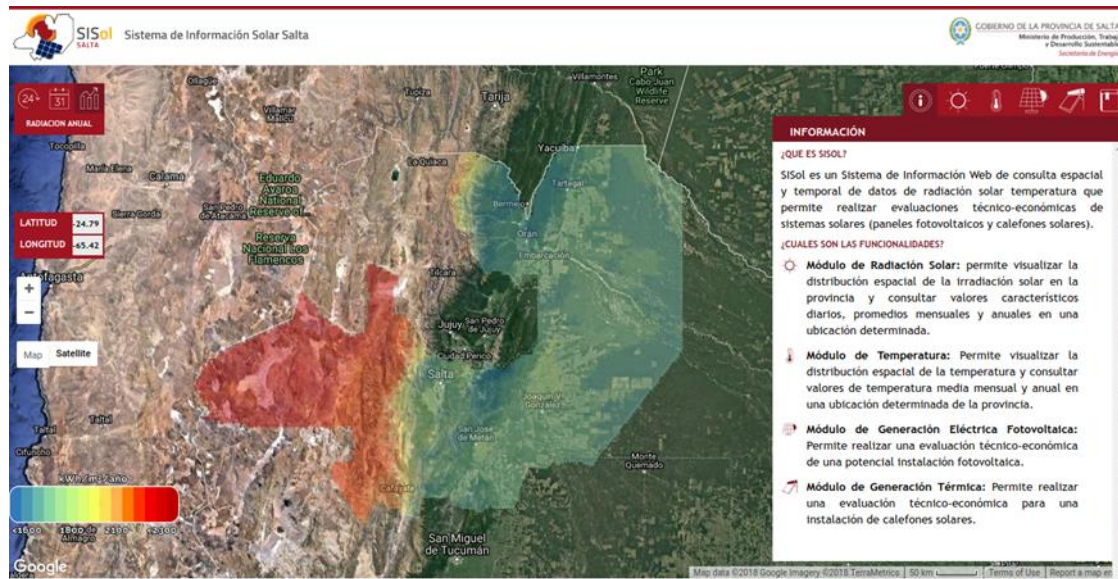
SiSol es un Sistema de Información Web de consulta espacial y temporal de datos de radiación solar y temperatura que permite realizar evaluaciones técnico-financieras de sistemas solares (paneles fotovoltaicos y calefones solares).

La aplicación se encuentra montada sobre una plataforma georeferenciada con base en Google Earth, incluye dos menús, uno ubicado en el margen superior derecho y otro en el izquierdo (Figura 8.4). El primero refiere a hacer selecciones temporales (día, mes y año) y el segundo contiene seis módulos correspondientes a las funciones más importantes del sistema computacional. El primero bajo el símbolo de un signo de admiración, es la pantalla inicial del programa y brinda información básica del mismo; mientras que el símbolo del libro es el módulo que contiene toda la documentación del sitio (tutoriales y memorias técnicas). Los cuatro módulos de entre medios, son de consulta y cálculo:

- Módulo de Radiación Solar (Figura 8.5): Permite visualizar la distribución espacial de la radiación solar en la provincia y consultar valores de día característico, promedios mensuales y anuales en una ubicación determinada.
- Módulo de Temperatura (Figura 8.6): Permite visualizar la distribución espacial de la temperatura y consultar valores de temperatura media mensual y anual en una ubicación determinada de la provincia.
- Módulo de Generación Eléctrica Fotovoltaica: Permite realizar una evaluación técnico-económica de una potencial instalación fotovoltaica.
- Módulo de Generación Térmica: Permite realizar una evaluación técnico-económica para una instalación de calefones solares.

Una funcionalidad extra, es la posibilidad de localización espacial a partir del movimiento del mouse o la entrada de las coordenadas latitud y longitud, en un cuadro de ingreso de texto ubicado en el margen central izquierdo.

Fig. 8.4 Visualización general del sistema SISol.



8.2.1. Módulos de radiación y temperatura

Los módulos de radiación y temperatura, permiten visualizar la distribución espacial de la radiación o temperatura. La Figura 8.7 muestra la dinámica de funcionamiento del módulo de radiación, de igual manera trabaja el de temperatura. Asimismo, ambos módulos cuentan con tres pestañas de interface con el usuario:

- 1- Datos: Presenta información de datos geográficos y datos del recurso seleccionado (radiación o temperatura). Se pueden realizar consultas de datos geográficos (latitud, longitud, altitud) y de radiación solar diaria, mensual y anual en cualquier punto de la provincia. Así mismo, permite consultarla radiación solar global sobre plano inclinado (30°), directa sobre plano horizontal y difusa sobre plano horizontal.
- 2- Gráficos: Exhibe un gráfico de variación temporal de Enero a Diciembre tanto para valores de día característico como mensual en el caso de radiación solar y sólo para valores medios mensuales en temperatura.
- 3- Descargas: Permite la descarga de mapas ya editados con capas bases, en formato jpg y pdf, así como la descarga de las capas en formato raster.

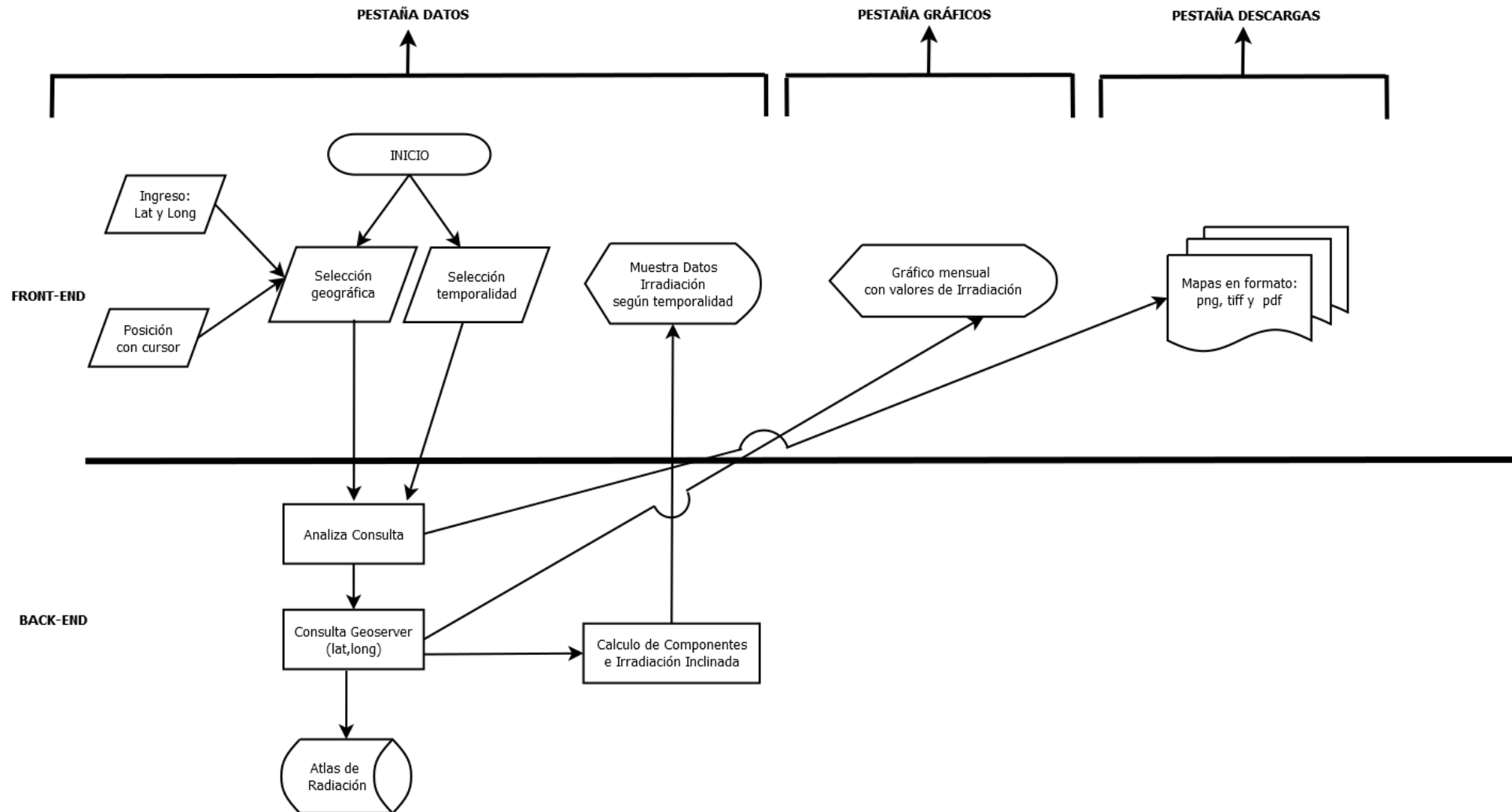
Figura 8.5 Ejemplo de visualización del módulo de radiación solar.



Fig. 8.6 Ejemplo de visualización del módulo de temperatura.



Figura 8.7 Diagrama de proceso módulo de radiación solar.



8.2.2. Módulo de generación eléctrica fotovoltaica

Permite realizar una evaluación técnico-financiera de una potencial instalación fotovoltaica. A partir de ciertas variables ingresadas por el usuario como ser: si se encuentra conectado o no a la red eléctrica, consumo mensual eléctrico, capacidad a instalar, eficiencia de inversor, etc., se visualiza un gráfico de consumo y generación eléctrica mensual, así como la tabla de valores de consumo y generación mensual. En caso de estar conectado a la red, es posible realizar el análisis financiero con la ley de Balance Neto N° 7824, con el objeto de saber cuál sería el ahorro en pesos en caso de realizar la instalación fotovoltaica caracterizada previamente. La Figura 8.11 presenta un diagrama de comportamiento del presente módulo.

El módulo cuenta con dos pestañas (Figura 8.9):

- 1) **Formulario:** Pantalla interactiva donde se solicitan datos de la conexión eléctrica en el hogar, el consumo mensual en kWh, características del tipo de instalación fotovoltaica que se desea realizar y si se desea realizar un informe en formato pdf. A su vez, hay un tutorial de uso que puede ser descargado haciendo click en el signo de pregunta.
- 2) **Resultados:** Se entregan los resultados en un gráfico mixto mensual, una tabla de los datos graficados y en caso de requerirlo se entrega en formato pdf el reporte con las características de la posible instalación, así como un informe técnico y financiero si se aplica la ley de fomento.

Figura 8.9 Ejemplo de visualización del módulo generación eléctrica fotovoltaica.

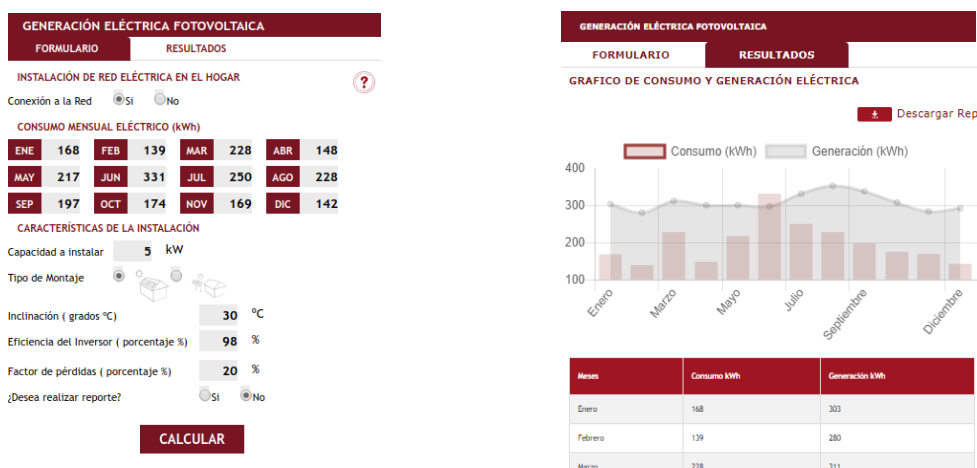
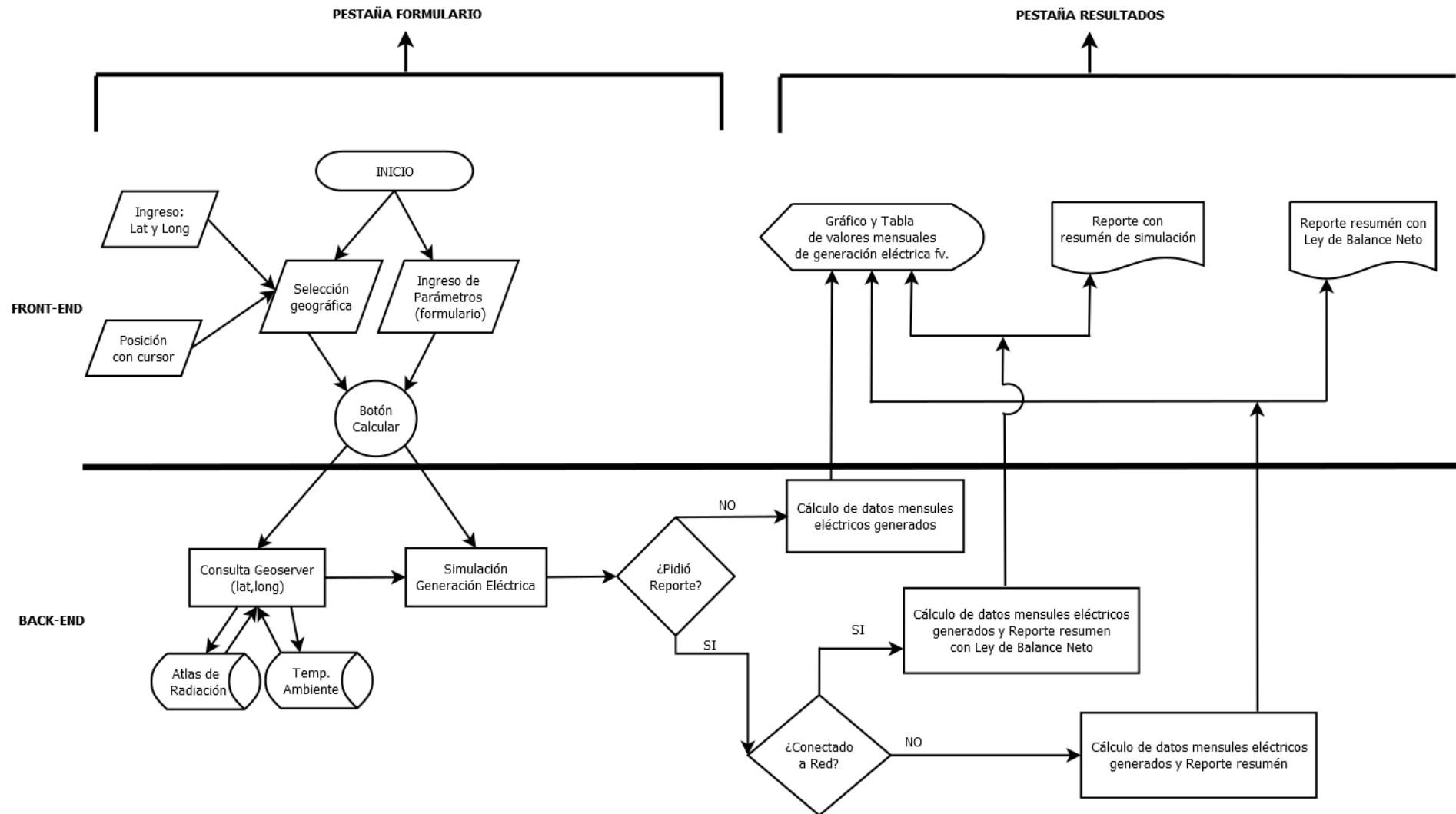


Figura 8.8 Diagrama de proceso módulo de Generación eléctrica fotovoltaica.



Parámetros de entrada y valores por defecto

Este módulo requiere el ingreso de algunos parámetros por el usuario para la descripción de la instalación fotovoltaica a realizar, otras variables ya se encuentran definidas como constantes (Tabla 8.1). Los valores por defecto, son aquellos valores establecidos (posibles de ser cambiados) a modo de ejemplo.

Tabla 8.1 Descripción y valores por defecto de Parámetros de entrada

Parámetros de entrada	Descripción	Valores por defecto
Ubicación geográfica	Coordenadas geográficas del sitio donde se instalará el sistema fotovoltaico (latitud, longitud).	Salta Capital -24.79° S; -65.42° W
Datos de radiación solar y temperatura	Valores mensuales medios tomadas del Atlas de Radiación Solar (módulo Recurso Solar) y Atlas climático INTA (módulo Recurso Temperatura).	Vinculación automática según localización del sitio.
Conexión a la red	Indica si el usuario se encuentra conectado a la red eléctrica de Empresa Distribuidora de Electricidad de Salta S.A. (EDESA).	Sí
Consumo mensual eléctrico	Refiere a la cantidad mensual de electricidad consumida por el usuario en un año típico expresada en kW/h, en caso de tener conexión a la red.	Consumo medio de un usuario residencial característico de EDESA: T1 R2
Capacidad a instalar	Potencia nominal que generará el sistema fotovoltaico a instalar.	5 kW
Tipo de montaje	Indica si la instalación se ubicará sobre el techo o de forma aislada.	Sobre el techo
Inclinación	Ángulo de inclinación de los paneles con respecto al plano horizontal.	30°
Orientación	Posición de la instalación con respecto al Norte.	Azimut 0° (constante)
Eficiencia del inversor	Parámetro característico del equipo expresado en %.	98%
Factor de pérdidas	Factor de pérdida global de todo el sistema (por cableado, temperatura, etc.) expresado en %.	14%

Modelo de Cálculo

Se basa en la norma de Monitorización de Sistemas Fotovoltaicos - Guías para la medida, el intercambio de datos y el análisis (UNE-EN 61724:2000, 2017). La norma describe las recomendaciones generales para el análisis del comportamiento eléctrico de los sistemas fotovoltaicos, tanto conectados a la red como autónomos. La energía generada por el sistema fotovoltaico (E_{AC}) se obtiene a partir de la (Ecuación 1):

$$E_{AC} = PR * \frac{H_m(\alpha, \beta) * P_{GFV}}{G^*} \quad (1)$$

Donde:

E_{AC} = Energía generada medida en kWh.

PR = Rendimiento del sistema (*Performance Ratio*).

$H_m(\alpha, \beta)$ = Irradiación solar mensual incidente sobre superficie inclinada β y azimut ($\alpha = 0^\circ$), expresada en kWh/m².

P_{GFV} = Potencia nominal del generador fotovoltaico en kWp.

G^* = Irradiancia de referencia, 1 kW/m².

El rendimiento del sistema (PR) depende de la temperatura ambiente, pérdidas totales y las características de funcionamiento del generador fotovoltaico (Ecuación 2):

$$PR = (1 - P_{temp}) * (1 - P_{totales}) \eta_{inv} \quad (2)$$

P_{temp} = Coeficiente de pérdida de temperatura. Depende de la temperatura de la celda fotovoltaica (T_c).

La misma se estima a partir de la temperatura ambiente (T_p) utilizando el modelo de temperatura de Sandia (King et al, 2004⁶). El modelo considera diferentes ecuaciones para los casos de sistemas ubicados sobre el techo o de forma aislada.

$P_{totales}$ = Coeficiente de pérdida total. Incluye las pérdidas por sombreado, cables y conectores, imperfecciones de fabricación, etc. Se toma como promedio 14%.

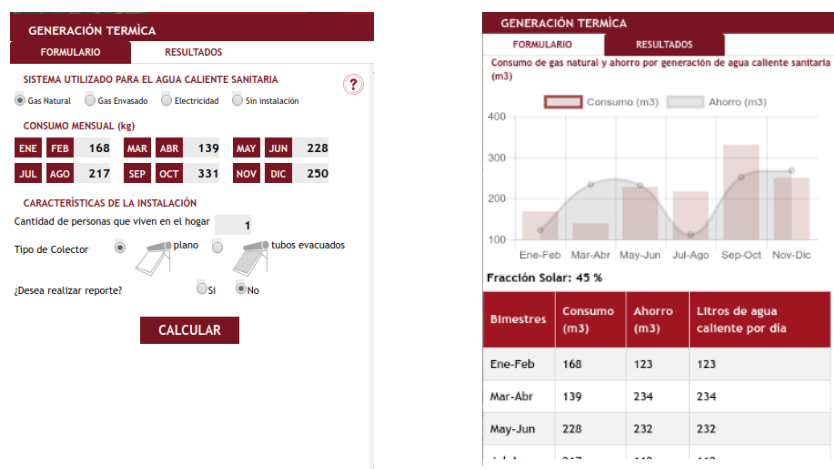
η_{inv} = Eficiencia del inversor. Se obtiene de la ficha técnica del equipo.

8.2.3. Módulo de generación solar térmica

Permite realizar una evaluación técnica para una instalación de calefones solares. A partir de la caracterización del sistema utilizado para calentar agua caliente (gas natural, gas envasado, electricidad, sin instalación) y el tipo de instalación a realizar, se visualiza un gráfico de consumo y ahorro (por calentamiento de agua) así como la tabla de datos usados para el gráfico en un año promedio. El ahorro es expresado en la unidad de referencia, tomada del sistema de agua caliente utilizado en la vivienda. En caso de no poseer instalación para calentamiento de agua, se grafican los litros de agua caliente mensuales que genera la instalación térmica. El módulo cuenta con dos pestañas (Figura 8.10):

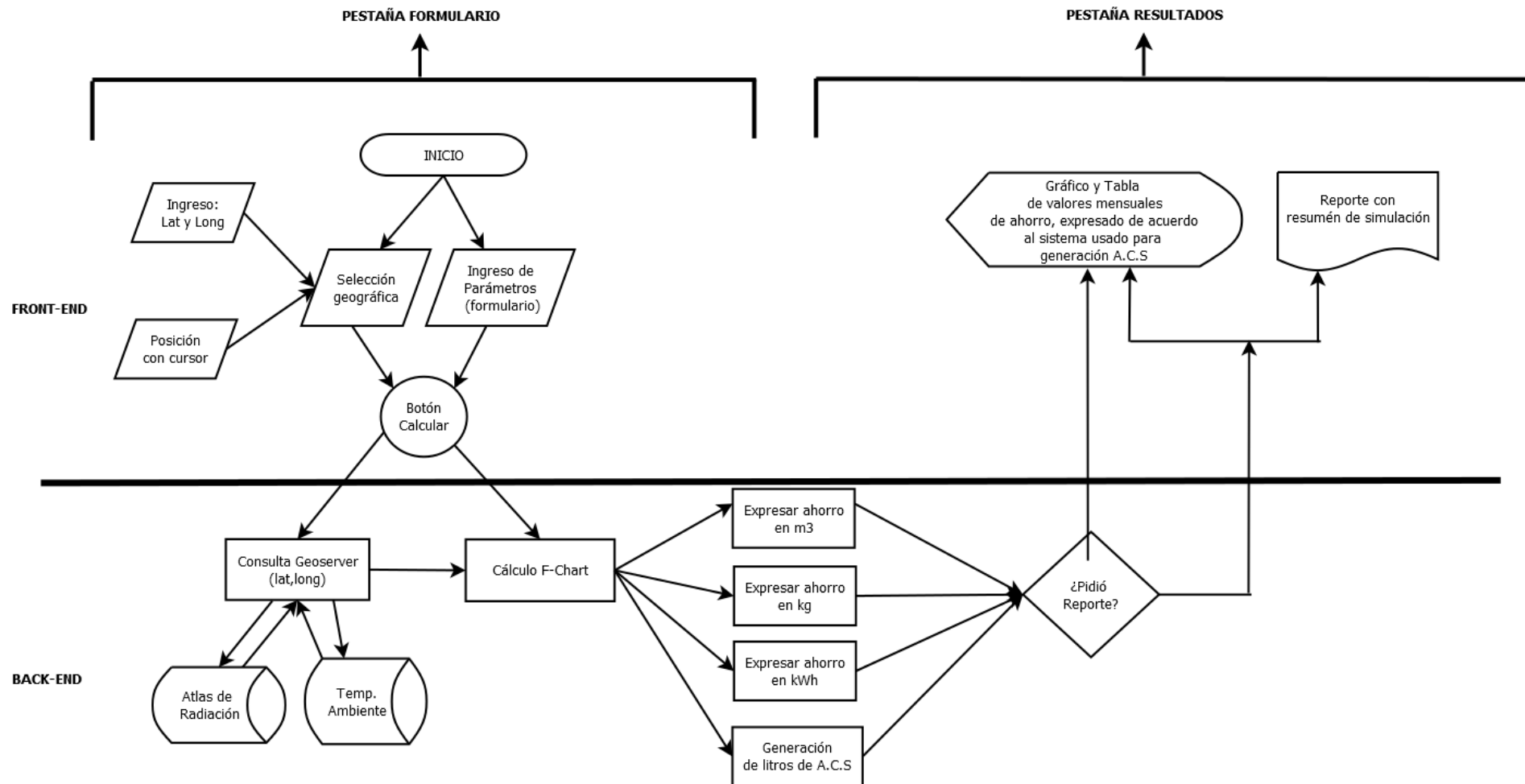
- 1) Formulario: Pantalla interactiva donde se solicitan datos de la conexión eléctrica en el hogar, el consumo mensual en kWh, características del tipo de instalación fotovoltaica que se desea realizar y si se desea realizar un informe en formato pdf. A su vez, hay un tutorial de uso que puede ser descargado haciendo click en el signo de pregunta.
- 2) Resultados: Se entregan los resultados en un gráfico mixto mensual, una tabla de los datos graficados y en caso de quererlo se entrega en formato pdf el reporte con las características de la posible instalación, así como un informe técnico y financiero en caso de aplicar la ley de fomento.

Figura 8.10 Ejemplo de visualización de módulo de generación solar térmica.



La Figura 8.11 contiene un diagrama de flujo que muestra la dinámica de uso de este módulo.

Figura 8.11 Ejemplo de visualización del módulo de generación solar térmica.



Parámetros de entrada y valores por defecto

A su vez, si bien el modulo posee valores por defecto (aquellos valores establecidos a modo de ejemplo y plausibles de ser cambiados) el modulo requiere el ingreso de algunos parámetros por el usuario para la caracterización del sistema térmico a instalar. A continuación, se sintetiza una tabla con ambos tipos de parámetros (Tabla 8.2):

Tabla 8.2 Parámetros de entrada y valores por defecto.

PARÁMETROS DE ENTRADA	DESCRIPCIÓN	Valor por defecto
Ubicación geográfica	Coordenadas geográficas del sitio donde se instalará el sistema fotovoltaico (latitud, longitud).	Salta Capital -24.79° S; -65.42° W
Datos de radiación solar y temperatura	Valores mensuales medios tomadas del Atlas de Radiación Solar (módulo Recurso Solar) y Atlas climático INTA (módulo Recurso Temperatura).	Vinculación automática según localización del sitio.
Sistema utilizado para provisión de agua caliente sanitaria	Permite seleccionar entre 4 alternativas para la generación de agua caliente para uso sanitario familiar: gas natural, gas envasado, electricidad, sin instalación.	Gas natural
Consumo mensual	Depende del sistema seleccionado anteriormente para la provisión de agua caliente sanitaria familiar. Se expresa en distintas unidades: gas natural (m ³), gas envasado (kg), electricidad (kW/h).	Consumo medio de gas natural para un usuario residencial característico de GASNOR: R1
Cantidad de personas que viven en el hogar	Composición familiar	4
Tipo de colector	Características del equipo a instalar. Opciones: colector plano o de tubos evacuados.	Colector plano

Modelo de Cálculo

Para calcular el aporte energético provisto por un sistema solar térmico de calentamiento de agua se realiza utilizando el **método de cálculo f-Chart** (Duffie and Beckman, 1974). Este método permite estimar el rendimiento medio en un largo período de tiempo, expresado como la *fracción de la carga térmica mensual (f) aportada por el sistema de energía solar*. Para desarrollarlo se utilizan datos mensuales medios meteorológicos: irradiación solar mensual, temperatura media mensual, temperatura de red media mensual. La fórmula considera relaciones entre la energía absorbida y perdida por el colector solar sobre la carga térmica mensual. Los parámetros de diseño definidos para este módulo son (Tabla 8.3):

Tabla 8.3 Parámetros de diseño del módulo.

VARIABLES		Rangos, valores y unidades	
Irradiación diaria media mensual incidente sobre la superficie de captación por unidad de área	Se obtiene de los mapas de radiación solar acumulada mensual para la localización indicada.	Expresada en kWh/m ²	
Inclinación	Ángulo de inclinación de los colectores con respecto al plano horizontal.	30°	
Orientación	Posición de la instalación con respecto al Norte.	Azimut 0°	
Superficie del colector (S _c)	El cálculo del área de colección se toma en función del número de personas (n _p) introducido por el usuario.	Para n _p = 1 o n _p =2; S _c = 1 m ² Para n _p > 2; S _c = n _p *0,5 m ²	
Coeficientes característicos de los colectores solares	Tipo de collector(Chandrashekar and Thevenard, 1995)	F _R (τ α)	F _R U _L (W/m ² °C)
	Colector plano con cubierta de vidrio	0,68	4,9
	Colector de tubo evacuado	0,58	0,7
Volumen de tanque (V _t)	Depende del número de personas (n _p). Se considera un promedio de 45 litros por persona, exceptuando para una persona que duplica considerando la disponibilidad comercial de tanques de almacenamiento.	Para n _p = 1 o n _p =2; V _t =90 litros Para n _p > 2; V _t = n _p *45 l	
Consumo diario de agua caliente sanitaria (C _d)	Se calcula en función de la composición familiar introducida por el usuario, asumiendo un consumo por persona de 45 l.	C _d = n _p *45 l/día	
Temperatura de ingreso del agua (T _{red})	Depende de la temperatura de la región. Se estima como la temperatura de suelo a 2m de profundidad (C.E.P.A,2004). El modelo toma los valores de temperatura ambiente promedio de los mapas de temperatura en °C. $T_{red,i} = \overline{T_{amb,anual}} + 0,35 (\overline{T_{amb,mes\ i}} - \overline{T_{amb,mes\ (i+1)}})$		
Temperatura del agua caliente de acumulación (T _{uso})	Se toma como un valor fijo promedio confort para el uso del agua caliente en la zona de trabajo.	T _{uso} = 55°C	

El método f-Chart permite obtener la fracción de la carga térmica mensual aportada por el sistema de energía solar. La energía aportada por el sistema se calcula multiplicando la carga térmica mensual del sistema multiplicado por el valor de f obtenido. Es decir,

$$E_a = f * Q_{ac}$$

E_a =Energía aportada por el sistema solar (kWh)

Q_{ac} = Carga térmica mensual de agua caliente.

La carga térmica unitaria (por unidad de volumen) está relacionada con la temperatura del agua de ingreso (T_{red}) y la temperatura del agua de consumo (T_{uso}).

El mismo proceso operativo se desarrolla para todos los meses (i) del año. La relación entre la suma de las coberturas mensuales y la suma de las cargas térmicas mensuales determina la cobertura anual del sistema (Q_u)

$$\text{Fracción de cobertura solar anual} = \sum_{i=1}^{12} Q_{u,i} / \sum_{i=1}^{12} Q_{ac,i} \quad (3)$$

8.2.4. Comparación con otros software de cálculo

Módulo de generación solar fotovoltaica

Las comparaciones se realizaron usando la localidad de San Carlos (latitud: 26.1 S; longitud: 65.9 O) Salta. Para la comparación del módulo de generación fotovoltaica (SAM, PVSyst y SISOl) se definieron las siguientes características en los modelos de cálculo (Tabla 8.4):

Tabla 8.4 Parámetros de entrada usados para las simulaciones de generación solar fotovoltaica.

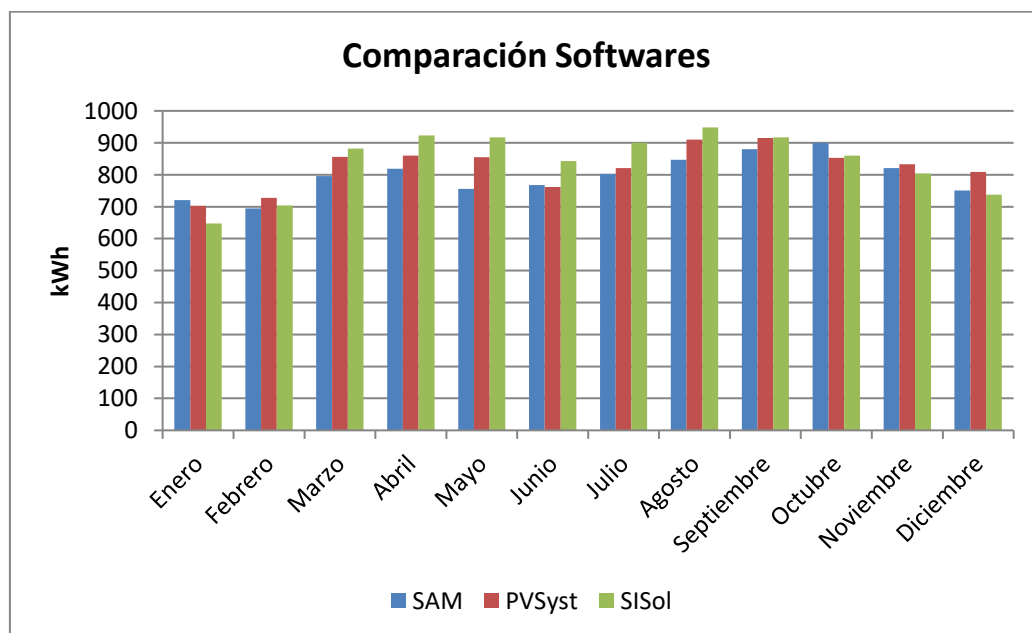
Variables	Valores
Ubicación	(26.1 S, 65.9 O)
Capacidad a Instalar (Potencia Nominal)	5 kW
Tipo de Montaje	Roof Top
Inclinación Panel	30°
Orientación del collector (acimut)	0° (orientación Norte)
Albedo	0.2
Factor Global de Perdidas	14%
Eficiencia del inversor	98%

A continuación, se presenta la tabla de valores (Tabla 8.5) y la gráfica de barras asociada a dichos datos (Figura 8.12).

Tabla 8.6 Tabla resumen de rendimiento y error.

Mes	SAM (kWh)	SISol (kWh)	Error Relativo (%)	PVSyst (kWh)	SISol(kWh)	Error Relativo (%)
Enero	721	648	-11%	703	648	-8%
Febrero	695	704	1%	728	704	-3%
Marzo	796	882	10%	856	882	3%
Abril	819	923	11%	860	923	7%
Mayo	756	917	18%	855	917	7%
Junio	768	843	9%	762	843	10%
Julio	803	900	11%	821	900	9%
Agosto	847	948	11%	910	948	4%
Septiembre	880	917	4%	915	917	0%
Octubre	900	860	-5%	853	860	1%
Noviembre	821	804	-2%	833	804	-4%
Diciembre	751	738	-2%	809	738	-10%
Anual	9557	10084	5%	9905	10084	2%

Figura 8.12 Comparación de salidas de software SAM, PVSyst, SISol para generación fotovoltaica.



A partir del análisis, se distingue una alta cohesión en los valores, principalmente durante el verano. Las pequeñas diferencias pueden deberse a las distintas bases de datos de irradiación solar tomadas por cada aplicación. Cabe distinguir, que una reflexión alcanzada durante el desarrollo del atlas de radiación solar de la provincia de Salta, fue la subestimación de fuentes de datos satelitales durante los meses de invierno en la provincia de Salta (ver capítulo 7).

El cálculo de error relativo de energía anual está definido de la siguiente manera (Ecuación 4):

$$Error\ Relativo\% = 100 * \left[\sum_{i=1}^{12} (\bar{E}_{i-\frac{sam}{pvsyst}} - E_{i-sisol}) \right] / \left(\sum_{i=1}^{12} \bar{E}_{i-sisol} \right) \quad (4)$$

$\bar{E}_{i-sisol}$: energía eléctrica generada anualmente por una instalación fotovoltaica estándar en el software SISOL.

$E_{i-sam/pvsyst}$: energía eléctrica generada anualmente por la misma instalación fotovoltaica estándar en el software sam o pvsyst.

El mismo análisis realizado con base anual indicó como resultados: error del 5% si se considera SAM y del 2% con respecto a PVSyst.

Módulo de generación solar térmica

De igual manera que con el módulo de generación fotovoltaica, se hicieron chequeos de todos los resultados intermedios de manera manual. Finalmente, se realizó una comparación con el SAM, definiendo una instalación de calefones estándar de la siguiente manera (Tabla 8.7):

Tabla 8.7 Parámetros usados en las simulaciones de generación solar térmica.

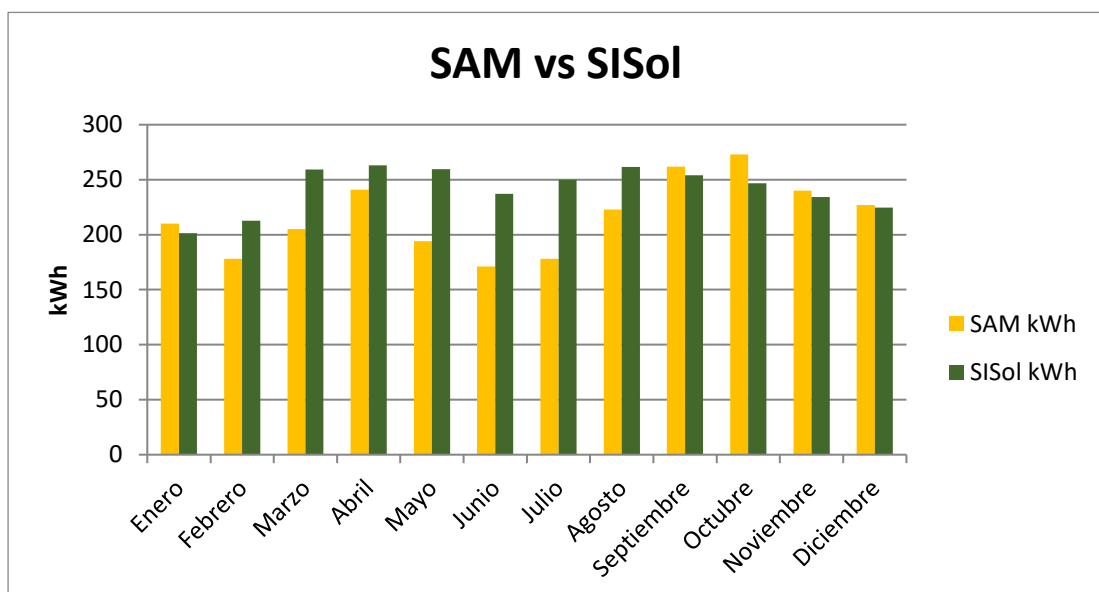
Variables	Valor
Ubicación	(26.1 S, 65.9 O)
Tipo de Colector	Plano
$F_R(\tau\alpha)$	0.68
$F_R U_L$ (W/m ² °C)	4.9
Inclinación de colector	30°
Orientación del colector	0° (orientación Norte)
Volumen de Tanque	225 m ³
Temperatura de Uso	55°

A continuación, se presenta la tabla de valores (Tabla 8.8) y la gráfica de barras asociada a dichos datos (Figura 8.13).

Tabla 8.8 Tabla resumen comparativa de rendimiento y error para generación térmica.

Mes	SAM (kWh)	SISol (kWh)	Diferencia	Error Relativo
Enero	218	201,45	-16,55	-8%
Febrero	208	212,8	4,8	2%
Marzo	226	259,13	33,13	13%
Abril	241	263,04	22,04	8%
Mayo	206	259,4	53,4	21%
Junio	175	237,19	62,19	26%
Julio	204	249,86	45,86	18%
Agosto	243	261,44	18,44	7%
Septiembre	258	254,14	-3,86	-2%
Octubre	264	246,79	-17,21	-7%
Noviembre	245	234,17	-10,83	-5%
Diciembre	227	224,54	-2,46	-1%
Anual	2715	2903,95	188,95	7%

Figura 8.13 Comparación de salida del software SAM y SISol.



La Figura 8.13 muestra una diferencia aceptable entre los valores de energía térmica generada según el SAM y según SISOL, fundamentalmente en los meses de otoño e invierno. Esto puede deberse a diferentes cuestiones. La primera es que el modelo SAM contempla las pérdidas térmicas del tanque de almacenamiento hacia el medio ambiente, así como de las cañerías. La segunda razón es que este modelo tiene en cuenta al índice modificador del ángulo de incidencia (IAM), el cual se disminuye notablemente con el ángulo de incidencia solar produciendo una menor ganancia térmica en el sistema. Por lo tanto, el efecto asociado entre las bajas temperaturas y el IAM disminuyen el rendimiento térmico del sistema además de que en el mismo modelo se contempla el consumo de la bomba impulsora del fluido caloportador (Blair et al., 2014). En cuanto a la producción termo-energético anual obtenida con ambas plataformas, se observa que el error relativo porcentual es del 7%, lo cual permite asumir que el SISol predice resultados con una incerteza aceptable respecto a una plataforma de uso internacional como lo es SAM.

8.3 Reflexión del capítulo

En este capítulo se detalló el desarrollo de un sistema computacional de soporte a la toma de decisiones. Esta aplicación web constituye un sistema de soporte a la toma de decisiones en el ámbito energético provincial. El mismo, se encuentra enmarcado en convenios de trabajo formalizados con la Secretaría de Energía de Salta.

Esta aplicación web resulta novedosa a nivel nacional, al poseer herramientas espaciales y temporales sistematizadas en una misma aplicación, lo cual permite el apoyo a decisiones en distintas escalas para el fomento e incorporación de la energía solar en la provincia. Particularmente, la herramienta brinda respuestas a consultas generales tales como: ahorro energético de una instalación de generación de agua caliente sanitaria, generación eléctrica de una instalación fotovoltaica e incentivo económico que brinda la ley de Balance Neto.

La metodología empleada presenta una serie de beneficios, entre los que puede nombrarse: la incorporación de los requerimientos y necesidades de diversos actores, el trabajo colaborativo que permitió la detección temprana de errores de diseño y las reuniones continuas que propiciaron un espacio para la adecuación de la metodología de uso.

Por último, el desempeño de los módulos de SISol fue comparado con reconocidos sistemas internacionales de uso comercial y el mismo alcanzó resultados satisfactorios. SISol se encuentra bajo licencia GPLv2 lo cual permite su reproducción y adecuación, por cualquier actor interesado.

8.4 Referencias del capítulo

Belmonte, S.; Escalante K.; Franco J. "Shaping changes through participatory processes. Local development and Renewable energy in rural habitats". *Renewable & Sustainable Energy Reviews* 45 (2015) 278–289. ISSN: 1364-0321. 2015.

- Blair N.; Neises T.; Ferguson T.; Gilman P. y Janzou S. "System Advisor Model, SAM 2014.1.14: General Description". Technical Report. NREL/TP-6A20-61019. 2014.
- Thomas,C.; Wey, E.; Blanc, P. y Wald, L.. "Validation of three satellite-derived databases of surface solar radiation using measurements performed at 42 stations in Brazil". *Advances in Science and Research*. 13. 81–86. doi:10.5194/asr-13-81-2016. 2016.
- Chandrashekar,C. y Thevenard, P. "Comparison of WATSUN 13.1 Simulations with Solar Domestic Hot Water System Test Data from ORTECH/NSTF". Revised Report, Watsun Simulation Laboratory, University of Waterloo, Waterloo, ON, Canada, N2L 3G1. 1995.
- Cockburn A., *Crystal clear a human-powered methodology for small teams*. 2004.
- Voivontas, D.; Assimacopoulos, D.; Mourelatos,A.; Corominas, A."Evaluation of renewable energy potential using GIS decision support system". *Renewable Energy*, 13, pp. 333-344. 1998.
- Duffie J.A. and Beckman W.A."Solar Engineering of Thermal Processes". 2nd edn. pp. 54-59. Wiley Interscience, New York. 1991
- Geoserver.org. GeoServer. <http://geoserver.org/> (accedido en 29/11/2018).
- Guerra, A y Dominguez J. "Application of geographical information systems to rural electrification with renewable energy sources". *Renewable Energy*, 30, pp. 1897-1912. 10.1016/j.renene.2004.12.007. 2005.
- IEC Standard 61724."Photovoltaic system performance monitoring-guidelines for measurement, data exchange and analysis". Geneva, Switzerland. <ftp://ftp.ee.polyu.edu.hk/wclo/61/IEC61724%20PV%20monitoring.pdf>. 1998. (accedido 10/05/18).
- Hofierka, J. y Kaňuk,J. "Assessment of photovoltaic potential in urban areas using open-source solar radiation tools". *Renewable Energy*. 34 2206–2214. 2009
- Javascript.com. "Free JavaScript training, resources and examples for the community". <https://www.javascript.com> (accedido 10/05/18).
- js.foundation, J. jQuery. Jquery.com. <https://jquery.com/> 2018 (accedido 10/05/18).
- Adam, K.; Hoolohan, V.; Gooding, J. y Knowland, T.; Bale, C.S. y Tomlin, A.S." Methodologies for city-scale assessment of renewable energy generation potential to inform strategic energy infrastructure investment". *Cities*. 54: 45–56. 2016.
- King R.R.; Sinton R.A.; Swanson R.M." Doped surfaces in one sun, point-contact solar cells". *Appl. Phys. Lett.* 1989;54:1460.
- King, D.L.; Boyson, W.E. y Kratochvil, J.A., 2004." Photovoltaic array performance model, Sandia Report No. SAND2004- 3535".US Department of Commerce, National Technical Inform.

- Camargo, L.R. ; Zink, R.; Dorner, W. y Stoeckle, G. "Spatio-temporal modeling of roof-top photovoltaic panels for improved technical potential assessment and electricity peak load offsetting at the municipal scale". Computers, Environment and Urban Systems. 52:58–69. 2015.
- Rylatt, M.; Gadsden, S.; Lomas, K. "GIS-based decision support for solar energy planning in urban environments". Computers, Environment and Urban Systems. 25: 579–603. 2001.
- Brito, M.C.; Gomes, N.; Santos, T. y Tenedório, J.A. "Photovoltaic potential in a Lisbon suburb using LiDAR data, Solar Energy". 86:283–288. 2012.
- Mapa.educacion.gob.ar. <http://mapa.educacion.gob.ar/maps/mapa-navegable-de-programas-del-ministerio-de-educacion>. 2018.
- Mark Otto, a. "Bootstrap". Getbootstrap.com. <https://getbootstrap.com/> (accedido en 29/11/2018).
- Bianchi, A.R. y Cravero, S.A.C, 2010. "Atlas climático digital de la Republica Argentina". INTA. 2001.
- OLADE/CEPAL/GTZ "Energía y Desarrollo Sustentable en América Latina y el Caribe: Guía para la formulación de políticas energéticas". Proyecto Energía y Desarrollo Sustentable en América Latina y el Caribe. Quito. Ecuador. 2000.
- Quijano Hurtado, R. y Domínguez Bravo, J. "Proyecto integrado para la planificación energética y el desarrollo regional de energías renovables en Colombia basado en SIG". Difusión Científica de la ULPGC. ISBN: 978-84-96971-53-0. 2008.
- Raichijk C. "Comparación de valores satelitales de irradiación solar global con datos de tierra en la República Argentina". Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente, 13 (2009) 11.07-11.10.
- Ramachandra, T.V. y Shruthi, V.B. "Spatial mapping of renewable energy potential". Renew SustainEnergy Rev 11: 1460–1480.
- Ramirez Camargo L., Altamirano M., Belmonte S., Dorner W. Comparación de fuentes satelitales, de re-análisis y métodos estadísticos para el mapeo de la radiación solar en el valle de Lerma (Salta-Argentina). Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente, 19 (2015), pp. 11.19-11.30.
- Freitas, S.; Catita, C. y Redweik, P.; Brito, M.C." Modelling solar potential in the urban environment: State-of-the-art review". Renewable and Sustainable Energy Reviews. 41: 915–931. 2015
- Vuejs.org. Vue.js. Available at: <https://vuejs.org/> (accedido en 29/11/2018).

9. CONCLUSIONES

En este capítulo se sintetizan las conclusiones y recomendaciones finales del trabajo siguiendo cuatro ejes de reflexión: la revisión de objetivos y resultados alcanzados con la tesis, una breve descripción de la situación, avances y desafíos relativos a la implementación de las ER en la provincia de Salta, una reflexión sobre la importancia en la participación de los procesos y finalmente, se plantean nuevas líneas de trabajo que se derivan de la presente investigación.

9.1 Acerca de los objetivos propuestos y resultados alcanzados en la investigación

Los objetivos planteados en la investigación se han cumplido satisfactoriamente, a saber:

Objetivo General:

“Aportar al desarrollo de un Sistema Libre de Soporte a las Decisiones para la planificación energética a nivel provincial promoviendo el empleo de ER, mediante el desarrollo de escenarios y estrategias que optimicen el uso de los recursos energéticos existentes, atiendan la demanda energética socio-productiva y viabilicen la sustitución parcial de fuentes convencionales”.

Se ha desarrollado una aplicación web bajo licencia libre que posibilita la consulta espacial y temporal de datos de irradiación solar y temperatura, información imprescindible a la hora de realizar cualquier tipo de simulación o evaluación de sistemas solares. Este sistema permite la evaluación de escenarios en los que se incorporen tecnologías solares en distinta escala, obteniendo resultados técnicos de rendimiento. Así mismo, permite realizar evaluaciones financieras de instalaciones de sistemas solares (paneles fotovoltaicos y calefones solares). El sistema surgió como producto de vinculación inter-institucional incorporando requerimientos de distintos tomadores de decisiones de los sectores productivo, gubernamental y científico tecnológico.

Si bien es una aplicación concreta que permite realizar consultas espaciales de radiación y aporta de manera puntual a la evaluación de instalaciones fotovoltaicas y de generación de agua caliente sanitaria, constituye un interesante avance en el desarrollo de sistemas de soporte a las decisiones en dos sentidos: en primer lugar, como desarrollo tecnológico en sí mismo del sistema computacional, que resulta original y útil a los fines de la promoción de la energía solar en Salta y de proceso (aprendizaje metodológico), en segundo lugar se evidencia que es factible y de hecho propicio trabajar de manera colectiva, flexible y participativa a los fines de obtener resultados novedosos que den respuestas a las necesidades más acuciantes de los actores involucrados. Asimismo, los resultados poseen mayor legitimidad al haber surgido como frutos de procesos democráticos.

Objetivos Específicos:

“Construir un marco conceptual que relacione las Energías Renovables con conceptos multidisciplinares como: Software Libre, Sistema de Soporte a la Decisión, Sistema de Información Geográfica, entre otros”.

Se ha logrado construir un marco conceptual multidisciplinario (Capítulo 2) que relaciona las Energías Renovables y la planificación energética con Software Libre, Sistema de Información Geográfica y Sistemas de Soporte a las Decisiones.

“Adaptar Software/s Libre/s de SIG adecuándolos a los requerimientos específicos de trabajo con Energías Renovables”.

Se adaptó el servidor geoespacial GeoServer con el objeto de alojar capas temáticas de irradiación solar (diaria, mensual y anual) para visualización y base de datos de los datos de irradiación. A su vez, se creó un proyecto ejecutable a partir del software abierto QGIS para la consulta, visualización y procesamiento de datos de irradiación de la provincia.

Se superó ampliamente al desarrollar softwares propios para dar respuesta a las necesidades particulares requeridas en el proceso. Si bien se tomaron algunos elementos y se adecuaron diversos softwares disponibles, en el camino también se realizaron mejoras/optimizaciones y se desarrollaron nuevos.

“Construir un SIG para la integración de información de base para la planificación de Energía Renovable de la provincia mediante acuerdos, procesamiento de datos y otras herramientas”.

Se construyó un SIG que constituye una base con información central para la planificación de ER. Dicho SIG fue difundido en distintos ámbitos en formato (DVD y subido a la nube). Y a su vez, se trabajó en el desarrollo de un sistema web unificado, central y normalizado (IDESa) de la provincia de Salta, con el objeto de poner a disposición la información generada. En particular con el desarrollo de capas temáticas claves que fueron identificadas como prioritarias para avanzar en la planificación y promoción de la energía solar: 25 mapas para consulta específica en base diaria, mensual y anual.

“Desarrollar Software Libre de Soporte a las Decisiones como respuesta a cuestiones identificadas como prioritarias para la planificación de las energías renovables, incorporando estrategias Ágiles en el proceso”.

Mediante procesos de vinculación inter-institucional (talleres, workshop, comunicaciones informales, etc.) se identificaron los asuntos prioritarios para la planificación de ER y se generó una aplicación web como respuesta a dichas cuestiones. Para el proceso de desarrollo del software se adoptó la metodología ágil de crystal clear, por adecuarse eficientemente al grupo de trabajo. Fruto de este trabajo colaborativo, fue SISol una aplicación web de consulta espacial y temporal de datos de radiación solar y temperatura que permite realizar evaluaciones técnico-financieras de sistemas solares (paneles

fotovoltaicos y calefones solares). Este sistema computacional se encuentra alojado bajo el dominio: <http://sisol.salta.gob.ar/> de público acceso. Asimismo, los códigos fuentes del mismo se encuentran en anexo digital y en repositorio web: <https://github.com/Nilsa/SISol> para su uso, manipulación, modificación, adecuación y reproducción de manera totalmente gratuita.

“Promover la difusión, conocimiento y uso del Software desarrollado en distintos ámbitos de toma de decisiones”.

Se utilizaron diferentes mecanismos de difusión del Software desarrollado atendiendo a los intereses particulares de los actores sociales involucrados. La comunicación de resultados parciales y finales, fue una actividad transversal durante todo el proceso de desarrollo.

9.2 Avances y desafíos para la implementación de las ER en Salta

Argentina es un país con abundantes fuentes de ER (solar, eólica, biomasa, hidráulica y geotermia) y cuenta con una amplia trayectoria de variadas experiencias que van desde escalas de intervención puntual hasta programas y proyectos nacionales. Asimismo, son numerosos los sectores (gubernamental, productivo y ONG) que movilizan y participan de iniciativas que buscan construir un hábitat más sustentable a partir del aprovechamiento de recursos energéticos renovables.

Particularmente, Salta cuenta con una vasta historia en materia de ER destacándose la existencia del INENCO, institución con 40 años de trayectoria en la temática. En Salta se identifica rápidamente la preponderancia de experiencias de desarrollo solar, debido a la riqueza de este recurso en la zona. Si bien esto es popularmente reconocido, en el proceso de investigación se constató que una dificultad para la difusión de estas tecnologías es que no se contaba con herramientas libres y de acceso público que asesoren en aspectos como: potencialidad del recurso, performance de sistemas solares y distribución espacio-temporal de la radiación solar en la provincia; lo que dificultaba el proceso de toma de decisión en todas las escalas, desde el sector residencial hasta el sector gubernamental. Asimismo, las deficiencias de vinculación entre el sector gubernamental y el científico-tecnológico, aislaban las posibilidades de desarrollos novedosos tecnológicos que brinden respuestas concretas a necesidades generales.

A partir de la construcción colectiva de SiSol, se espera mitigar estas deficiencias y aportar a la necesidad de información detectada en los distintos sectores, avanzando en dar respuesta a algunas preguntas claves tales como: *¿Cuánto ahorro energético genera una instalación de generación de agua caliente sanitaria? ¿Cuánta electricidad produce una instalación fotovoltaica? ¿Cómo se distribuye anualmente la energía producida por una instalación fotovoltaica o de calefones solares? ¿En qué lugar de la provincia es más propicio, en términos de producción energética, realizar la instalación de un parque fotovoltaico?*

En este sentido, la herramienta de soporte a la toma de decisiones desarrollada es libre, gratuita y accesible y espera que pueda ser estudiada, reproducida y modificada dentro del área de trabajo y en otros

lugares con características similares. Esto destaca la importancia de utilizar licencias libres (GPLv1, GPLv2, GPLv3) en los desarrollos tecnológicos en general, que permiten mejorar las condiciones de vida de la comunidad. A su vez, el uso de licencias públicas y la puesta a disposición del trabajo realizado conlleva fuertes responsabilidades éticas, especialmente cuando el financiamiento de dichos desarrollos proviene directamente de la misma comunidad.

Por otra parte, la experiencia de esta tesis y el desarrollo de SISol brinda una plataforma base para la incorporación en sistema de soporte a las decisiones de otras tecnologías solares (desalinizadores, cocinas solares, etc.), nuevas fuentes renovables (eólica, minihidráulica, biomasa, etc.) y múltiples variables socio-económicas (demanda energética, acceso a servicios básicos, etc.) que faciliten una visión integral del hábitat.

Si bien durante el proceso investigativo se han percibido avances significativos en distintas esferas, estos son puntuales y todavía mucho trabajo queda por hacer para alcanzar una planificación y gestión energética democrática y soberana. El desafío de resolver el acceso integral a la energía, especialmente en zonas de vulnerabilidad y pobreza energética, aún se encuentra presente y demanda respuestas creativas y originales, que solo son posible a partir de la vinculación interinstitucional y la responsabilidad de cada uno de los actores intervinientes.

9.3 La importancia de la participación en los procesos

Un proceso de investigación y desarrollo exitoso de un sistema informático requiere la generación, adaptación y transmisión colectiva de conocimientos. Por esto, es necesario reconocer los actores involucrados, sus roles, intereses y expectativas y, prioritariamente, trabajar bajo el concepto de participación colectiva. La misma implica el trabajo de varias personas tanto en la determinación de los objetivos como en la definición de los caminos para alcanzarlo y sus beneficios. A su vez, es crucial la articulación de al menos, tres conocimientos y visiones (investigador, desarrollador y usuario), implicando la aceptación y el reconocimiento del “otro”.

Los procesos de desarrollo, adopción y apropiación de tecnologías están usualmente atravesados por diversos intereses y expectativas tanto de los generadores y promotores de las tecnologías como de los potenciales usuarios. Fortalecer los procesos de producción y de construcción social de la utilidad y funcionamiento de las tecnologías donde participan diferentes actores (usuarios, funcionarios públicos, investigadores) favorece la mitigación de tensiones e impulsa la mejor adopción de las tecnologías.

Las tecnologías desarrolladas implican el manejo de incertezas en los tiempos de realización, pero esto puede mitigarse con la participación de los beneficiarios de las tecnologías en todo el proceso de conceptualización, planificación, desarrollo, instrumentación y validación de las tecnologías.

La incorporación de otros actores sociales, sin una formación en investigación, requiere de un esfuerzo extra en la adaptación de la forma de trabajo, la adecuación del lenguaje para una comunicación

efectiva y el establecimiento de acuerdos con beneficios comunes y particulares que exceden el ámbito científico. Sin embargo, este proceso garantiza un impacto positivo en la aceptación e incorporación de los resultados obtenidos.

La comunicación de los avances de la tesis y los resultados finales constituyó una estrategia básica a los fines de poner a disposición la información generada pero también para comenzar a generar cambios concretos en pos de una mejor inserción de las ER en Salta y el país.

9.4 Nuevas líneas de investigación

En base al desarrollo del trabajo y los alcances propuestos originalmente, surgen nuevas líneas de trabajo futuro que dan continuidad a la presente investigación. La falta de incorporación de las demandas rurales y semi-rurales en las reglamentaciones actuales de ER sugiere la incorporación de dimensiones socio-económicas en el SIG, con el objeto de promover en el ámbito de tomadores de decisión la incorporación de dichos requerimientos.

Asimismo, mapear la situación actual de las necesidades energéticas de la población utilizando fuentes censales y herramientas de procesamiento de grandes cantidades de datos (Big data), posibilitaría el desarrollo de políticas especialmente dirigidas a grupos modelos formados del procesamiento.

Otras líneas de trabajo futuro, surgen en torno a la problemática ambiental y se plantea como avance importante el desarrollo de indicadores espaciales interactivos que informen sobre la criticidad de recursos tales como: hídrico y energético, en diversas regiones geográficas. A su vez, se plantea el desarrollo de plataformas web abiertas y libres, donde se alojen dichos indicadores con el objeto de sumar como insumo a la planificación y gestión territorial.

ANEXOS

La documentación (código fuente, archivos de configuración, tutoriales de uso, proyecto QGIS, publicaciones, etc.) complementaria al cuerpo principal de la tesis se encuentra en formato digital, para facilitar el acceso, visualización y lectura de los mismos. A continuación, se lista el orden y contenido de los anexos digitales:

A. Publicaciones y Software.

- a. Publicaciones (carpeta): contiene todas las publicaciones, libros y presentaciones a congresos realizados en el marco de la tesis.
- b. Programas: contiene los códigos fuente de los programas desarrollados durante el proceso investigativo.
 - i. Software de cálculo de radiación solar incidente en día determinado, con instalador "Make".
 - ii. Optimus: software de escritorio para optimización.
 - iii. Software de INTIAR.
 - iv. SISol - Sistema de Información Solar Salta, documentación de configuración con todos los archivos pertinentes.

B. Atlas de radiación solar de Salta

- c. Mapas Digitales (carpeta).
- d. Proyecto Google Earth (carpeta).
- e. Proyecto QGIS (carpeta).
- f. Software QGIS (carpeta).
- g. Contenido del CD Atlas solar Salta
- h. Licencia y Cita.
- i. Metadatos Atlas solar Salta.
- j. Presentación Atlas solar Salta.

C. Listado de publicaciones y participaciones en reuniones científicas

Libros y revistas científicas

Belmonte S., Sarmiento N., Escalante K., Franco J., Ramírez Camargo L., Dorner W. "Aportes a la planificación energética en Salta. Información de base, marco legal y desafíos al corto plazo". Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente Vol. 19, pp.12.23-12.34, 2015. Impreso en la Argentina ISSN 0329-5184. 2015

Garrido S., Belmonte S., Franco J., Díscoli C., Viegas G., Martini I., González J., Barros V., Escalante K., Chévez P., Schmukler M., Sarmiento N., González F. "Políticas públicas y estrategias institucionales para el desarrollo e implementación de energías renovables en Argentina (2006-2016)". Avances en Energías

Renovables y Medio Ambiente. Vol. 20, pp 12.33-12.42, 2016. Impreso en Argentina. ISSN 0329-5184. 2016.

Ramirez Camargo L., J. Franco, N. Sarmiento Barbieri, S. Belmonte, K. Escalante, R. Pagany, and W. Dorner “Technical, Economical and Social Assessment of Photovoltaics in the Frame of the Net-Metering Law for the Province of Salta, Argentina”. *Energies* 2016, 9: 133; 21 p.; doi: 10.3390/en9030133. www.mdpi.com/journal/energies. ISSN 1996-1073. 2016

Saravia, D. y Sarmiento, N. Optimización de sistemas solares con Simusol. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente* Vol. 21, pp 08.105-08.116. Impreso en la Argentina. ISSN 2314-1433. 2017.

Belmonte, S et al. “Experiencias de energías renovables en Argentina: una mirada desde el territorio” / Coordinadoras: Silvina Belmonte – Judith Franco - Co-autores del libro: Silvina Belmonte, Judith Franco, Santiago Garrido, Carlos Díscoli, Irene Martini, Karina Escalante, Jorge González, Graciela Viegas, Pedro Chevez, María Victoria Barrios, María Schmukler, Nilsa Sarmiento, Facundo González, Alberto Lalouf. 1a ed. - Salta: Universidad Nacional de Salta. EUNSa, 2017. 262 pág. ISBN 978-987-633-521-8 (versión impresa)- ISBN 978-987-633-523-2 (digital). <http://energiarenovablesysociedad.com/publicaciones.php> .2017.

Sarmiento Barbieri Nilsa M.; Silvina Belmonte; Pablo R. Dellicompagni; Judith Franco; Karina Escalante. “A Solar Irradiation GIS as Decision Support Tool for the Province of Salta, Argentina”. *Renewable Energy*. Vol. 132. pp 68-80 DOI: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2018.07.081>. 2018

Presentaciones en seminarios y reuniones CyT

Franco J., Belmonte S., Sarmiento N. y K. Escalante - 2016 - “Políticas públicas de Energías Renovables en Salta (Argentina). Procesos de vinculación: Gobierno - Ciencia y Tecnología - Sociedad.” VI Congresso Brasileiro de Energia Solar – Belo Horizonte, 04 a 07 de abril de 2016. Artículo Completo publicado en libro del Congreso. ISBN 978-8586923-43-2. Universidad Federal de Minas Gerais, Brasil. <http://www.abens.org.br/CBENS2016/anais/anais/index.php> Expositora: Judith Franco.

Belmonte S., López E., Sarmiento N., García M. A., Caso R., Goareguer A., Franco J. - 2016 - Acceso al agua en el Chaco salteño: Mirada integral a un problema no resuelto. *Espacio agua para el Desarrollo*. 3º Encuentro Mundial Gran Chaco, 14 al 16 de junio. Villa Montes, Bolivia.

Sarmiento N.; Franco J.; Belmonte S. - 2018 – “Políticas públicas de energías renovables en Salta (Argentina). Sistema de Información Solar (SISol)”. XVI Congreso Ibérico y XII Congreso Iberoamericano de Energía Solar - 20 al 22 de junio – Madrid – España. Trabajo completo publicado en Libro de Actas. p.587-594. Asociación Española de Energía Solar. ISBN 978-84-86913-14-4

Sarmiento N., Belmonte S., Franco J., Gallucci G., Giubergia J., García L.- 2018 – “Sistema de Información Solar (SISol): Una herramienta de soporte a la toma de decisiones para la incorporación de energía

solar en la provincia de Salta”. III Congreso Nacional de Epistemología Crítica en el Campo del Habitat “Diálogo de Saberes para la Gestión del Territorio”. 5 y 6 de junio. Cerrillos-Salta. Expositora: Nilsa Sarmiento.

Sarmiento Barbieri N.; Dellicompagni P.; Belmonte S.; Franco J.; López E. – 2018 – “Validation of reanalysis and satellite imagery based data with four ground stations in Salta - Northern Argentina for a seven-year period”. Geophysical Research Abstrac 2018 -19576 Vol. 20, EGU2018. Session ERE 3.1. Poster presentation. EGU General Assembly 2018 – 03-18 April – Vienna – Austria. Participation: Dellicompagni P.

Salvo, A.; Dellicompagni, D.; Sarmiento, N.; Franco, J. y Echazú R. 2018. “Simulación y validación de un secadero solar directo pasivo mediante Simusol”. Acta de la XLI Reunión de Trabajo de la Asociación Argentina de Energías Renovables y Medio Ambiente Vol. 6, pp. 02.53-02.63,. Impreso en la Argentina. ISBN 978-987-29873-1-2.

Informes técnicos

“Aportes a la planificación energética en Salta. Información de base, marco legal y desafíos al corto plazo”. Informe de Workshop. Difundido via e-mail entre participantes.

“Información de base para modelos energéticos con SIG”. Informe de Workshop. Difundido vía carpeta compartida Dropbox.

Sitios web y difusión de resultados

Otros sitios web de importancia del proyecto investigativo son:

Sitio SISOL: <http://sisol.salta.gob.ar/>

Sitio IDESA: <http://www.idesa.gob.ar/2018/10/18/sisol-salta/>

Repositorio de información: <https://github.com/Nilsa> - <https://cssan.simusol.org/users/nilsamsarmiento/>

Sitio Proyecto PIO: <http://energiarenovablesociedad.com/>

Escalante, K.; Belmonte, S. y N. Sarmiento (2015) “Encuesta Energías Renovables en Salta 2015”. Cartilla de difusión de resultados. INTI - INENCO. 20 pág. Formato digital.

http://www.inti.gob.ar/salta/pdf/informesEnergiaSolar/EncuestaERSalta_2015.pdf

Presentación y promoción de SISOL

<http://energia.salta.gob.ar/energia-renovable/>

<http://www.energiaestrategica.com/promover-inversiones-el-gobierno-de-salta-presenta-un-aplicativo-para-detectar-potencial-de-recurso-solar-en-cada-zona-de-la-provincia/>

<https://www.eltribuno.com/salta/nota/2018-10-29-0-0-0-habilitan-una-web-que-informa-sobre-el-sol>

<http://www.salta.gov.ar/prensa/noticias/salta-presentara-un-innovador-sistema-de-informacion-solar/61295>

<http://www.idesa.gob.ar/2018/10/18/sisol-salta/>

<http://www.salta.gov.ar/prensa/noticias/gran-interes-de-empresas-para-invertir-en-energias-renovables/55352>

<http://www.salta.gov.ar/prensa/noticias/los-saltenios-podran-consultar-la-potencia-energetica-del-sol-en-una-web/61343>